RADAR Y SONAR



NUEVAS TECNOLOGIAS

BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA

ORBIS
marcombo


NUEVAS
TECNOLOGIAS
BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA

RADAR Y SONAR



Esta obra es una nueva edición actualizada y ampliada de la obra originalmente publicada por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, con el título de «Aplicaciones de la Electrónica»

El contenido de la presente obra ha sido realizado por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, bajo la dirección técnica de José Mompin Poblet, director de la revista «Mundo Electrónico»

ISBN 84-7634-485-6 (Obra completa)
ISBN 84-7634-866-5 (Vol. 53)
D. L.: B. 41862-1986

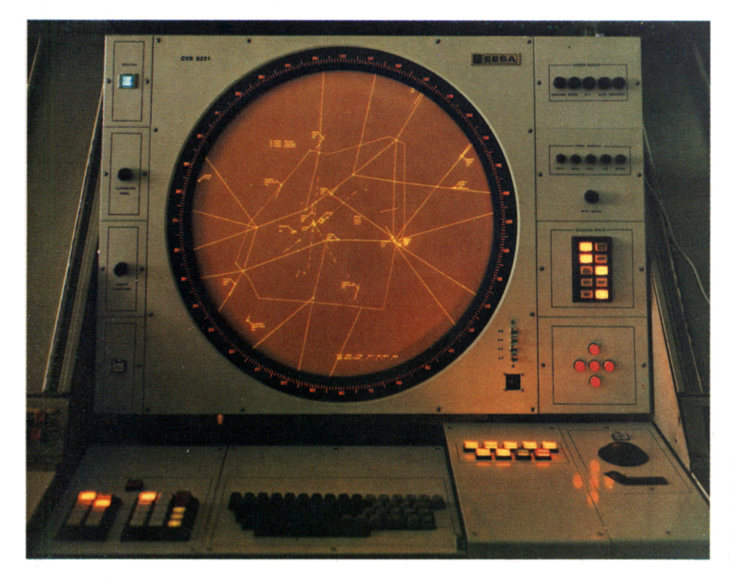
Impreso y encuadernado por
printer industria gráfica, sa c.n. II, cuatro caminos, s/n
08620 sant vicenç dels horts barcelona 1986

Printed in Spain

Radar y sonar

INTRODUCCION HISTORICA

Las primeras ideas sobre la posibilidad de localizar objetos mediante ondas electromagnéticas fueron dadas a conocer por el físico Nikola Tesla en un artículo publicado, a mediados de 1.906, en la revista *Century Magazine*.



Representación visual de información de tráfico aéreo sobre una pantalla radar.
(Cortesía: INISEL)

En 1922, Marconi también apuntaba la posibilidad de localizar objetos en movimiento mediante ondas electromagnéticas, en una conferencia que dio en Nueva York.

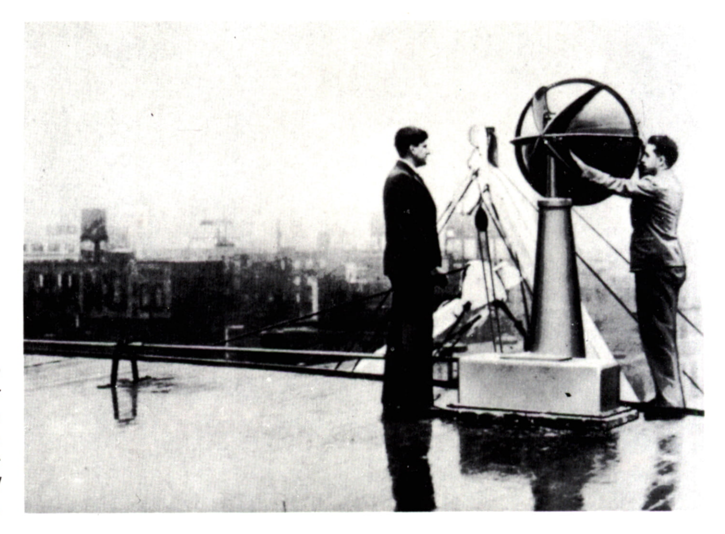
Pero todo lo anterior se reducía a meras especulaciones teóricas sin que nadie se animara a abordar el problema de una forma práctica.

A partir de 1930, las autoridades militares de diversos países apremiaron a sus científicos a estudiar prácticamente el problema de la radiolocalización. La industria bélica volvía a ser la impulsora de la tecnología.

Alemania, por ejemplo, comenzó el desarrollo de un detector de barcos en 1933, del que se pasó a otro para detectar aviones. En 1939 disponía ya de un equipo de tierra, el «Freya», poniéndose seguidamente en producción el «Seetakt», un localizador de barcos.

En 1940 se comenzó a utilizar un nuevo modelo que trabajaba en la gama de 600 MHz, el «Würzburg», cuya precisión era suficiente para hacer efectivo el control antiaéreo.

Francia, por su parte, había desarrollado un detector de obstáculos que, en 1935, fue utilizado a bordo del buque «Normandie» para la detección de icebergs.



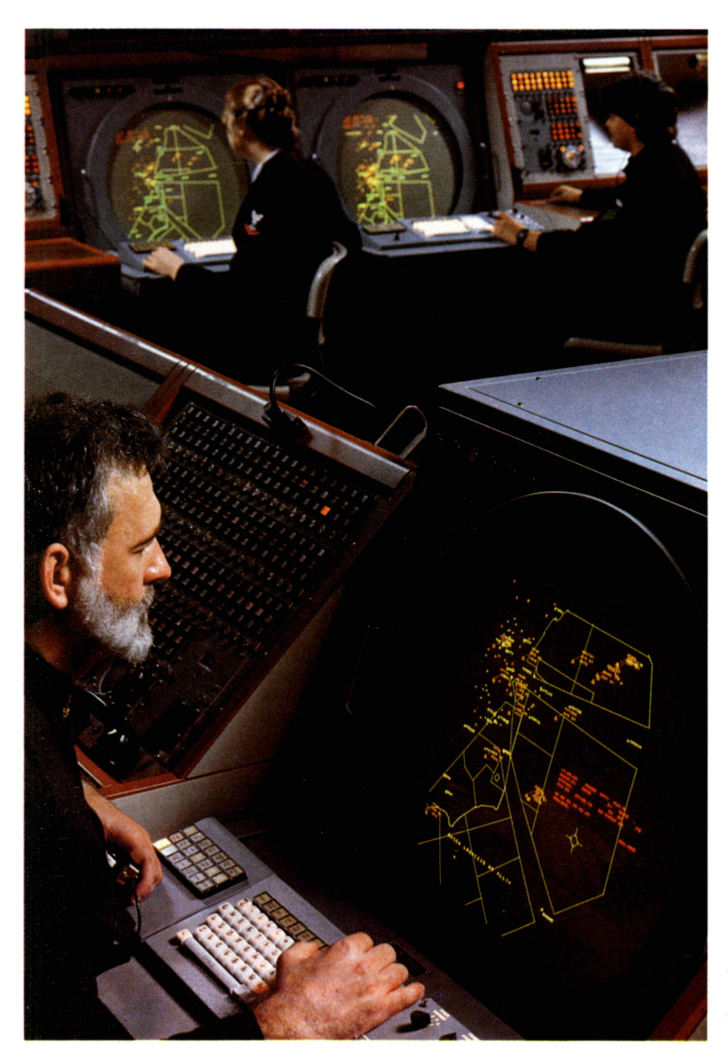
Primer equipo de detección radar instalado en el barco Normandía, destinado a localizar icebergs después del naufragio del «Titanic».

Gran parte de los desarrollos anteriores a 1936, y algunos posteriores, se basaban en la interferencia que los obstáculos producían en las ondas electromagnéticas emitidas por el transmisor. A partir de ese año y en EE.UU. se desarrollaba el primer radar de impulsos. Hacia finales de los años treinta este país ya disponía de una cadena completa de este tipo de radar.

Esta versión americana del radar estaba basada en una válvula inventada por el mayor Harold Zahl, que básicamente consistía en cuatro triodos conectados en paralelo y que

contenía, dentro de la misma ampolla, los circuitos sintonizados de placa y rejilla. Esto permitía su funcionamiento como oscilador de potencia, llegando a alcanzar 250 kW de potencia de pico.

Pero la contribución decisiva al desarrollo del radar se iba a producir en Gran Bretaña en 1940, cuando un grupo de



En primer plano puede verse información diversa sobre tráfico aéreo en una pantalla de radar.

científicos de la Universidad de Birmingham inventó el magnetrón de cavidades resonantes.

Desde 1940 hasta ahora, el radar no ha cesado de evolucionar y, lo que en principio fuera un equipo sofisticado



Integración de una unidad de visualización en color en la cabina de un avión de combate.

guardado con el máximo secreto, es hoy en día objeto de uso corriente por barcos y aviones de todo tipo y se le han buscado nuevas aplicaciones como en el campo de la predicción meteorológica.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL RADAR

Básicamente el radar es un sistema de telemetría en el que el transmisor emite un impulso de energía de radiofrecuencia y un receptor capta la porción de energía reflejada por los obstáculos con los que choca el impulso emitido.

Conociendo el tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción del «eco» y conociendo la velocidad a la que viaja el impulso en el medio en que se ha emitido, se puede saber exactamente a qué distancia se halla el obstáculo, al que habitualmente se conoce como «blanco».



Sala de control aéreo de un aeropuerto, en donde se observan diferentes pantallas de TVCC y radar.

Es decir, el radar transforma distancias en tiempos, que es un parámetro mucho más fácil de medir en electrónica y lo representa en una pantalla.

Una de las necesidades básicas es conocer en qué dirección se encuentra el obstáculo que produce el eco. Para ello se hace necesario el uso de antenas capaces de concentrar la energía radiada en un estrecho haz para que sólo reflejen energía los objetos que se encuentran directamente enfrente de la antena.

Para visualizar los blancos, en general, se utiliza un tubo de rayos catódicos, donde se puede ver el momento en que se emite el impulso y los ecos en una dirección determinada.

Descripción básica de un equipo de radar

Normalmente, un equipo de radar incluye tanto el transmisor como el receptor, y una sola antena que se utiliza para transmitir y para recibir los ecos. Esto es posible porque normalmente los radares trabajan con impulsos de energía de corta duración y, por tanto, el receptor puede trabajar durante los intervalos en los que el transmisor está inactivo.

El transmitir impulsos es una necesidad que viene impuesta por el hecho de tener que medir el tiempo transcurrido entre la emisión del impulso y la recepción del eco, ya que si se emitiera energía continuamente no se podría tener un punto de referencia temporal.

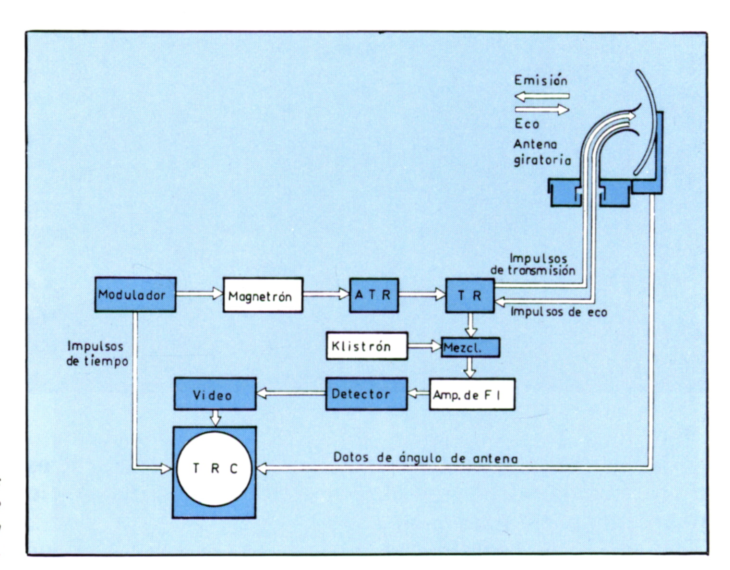
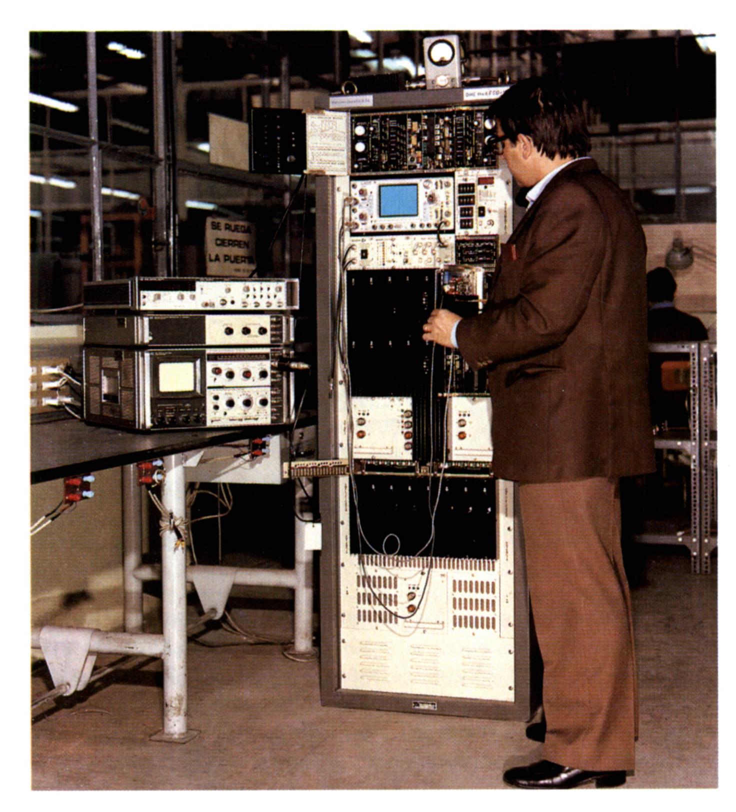


Diagrama de los bloques más importantes que constituyen una instalación de radar.

A lo anterior se añade otra ventaja, y es que si el impulso es lo suficientemente estrecho se puede concentrar en él una gran cantidad de energía con una fuente de alimentación pequeña, cosa muy importante para aquellos equipos

instalados sobre unidades móviles (barcos, aviones) que no disponen de una conexión directa a la red.

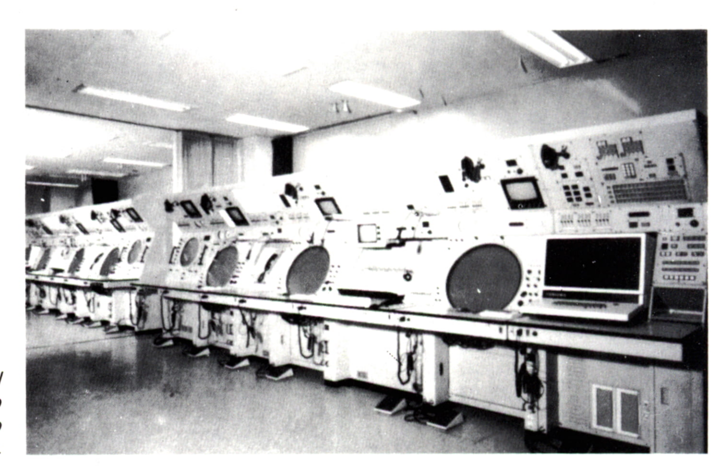
En los equipos móviles, para localizar los blancos situados alrededor de la antena es necesario que ésta gire. Al mismo tiempo que gira emite impulsos a intervalos regulares y recibe los ecos de los blancos.



Sistema de ayuda a la navegación aérea, vía radio, de la firma DME (Distance Measuring Equipment). (Cortesía: Marconi Española, S.A.).

Los módulos fundamentales que componen un equipo de radar suelen ser: el modulador, que emite impulsos de alta tensión y potencia al magnetrón, y el magnetrón, que se pone a oscilar a su frecuencia propia mientras duran los impulsos que le transmite el modulador. Este impulso de radiofrecuencia es transmitido, a través de la guiaondas, a las células ATR (antitransmisión-recepción) y TR (transmisión-

recepción). La función de la célula TR es la de conectar el magnetrón a la antena mientras dura el impulso de radiofrecuencia y desconectar el mezclador, que podría resultar dañado durante este período. En los períodos de reposo la célula ATR desconecta el magnetrón de la antena y el TR conecta el mezclador. Esto es, el conjunto TR y ATR forman un sistema de conmutación de la antena o bien al magnetrón durante la emisión, o bien al mezclador durante la recepción.



Terminal o sala de control de un sistema automático para el seguimiento mediante radar.

El mezclador recibe señal tanto del magnetrón (a bajo nivel) como de los ecos, además de la de un oscilador local, generada por una válvula especial llamada Klistron, de cuya heterodinación aparece una señal diferencia cuya frecuencia está comprendida entre 20 y 60 MHz.

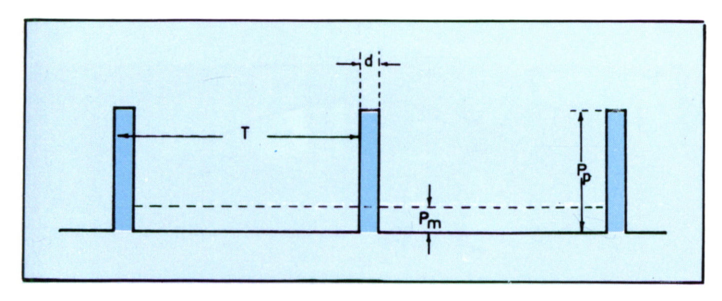
Esta señal es amplificada, detectada y aplicada al sistema de representación visual. En este momento se le pueden añadir, además, todo tipo de señales que puedan ser necesarias para la medida de distancias, así como de la dirección en la que se halla dirigida la antena.

El impulso

Tanto la duración como el tiempo de repetición del impulso están íntimamente ligados al alcance máximo y

mínimo del radar y a la capacidad de éste para distinguir entre dos objetos muy cercanos.

El conocer exactamente el momento del inicio del impulso permite localizar perfectamente el objeto a detectar, ya que el origen de la emisión es el origen de la medida de tiempos. Esto hace que el impulso deba ser lo más rectangular posible.



Ciclo de trabajo de las señales de radar. Se observa el período, la duración del impulso y la amplitud del mismo.

La distancia máxima que es capaz de alcanzar depende de la frecuencia de repetición de los impulsos. En efecto, si se produce la emisión del impulso antes de que el eco sea capaz de retornar a la antena, éste no será detectado, ya que durante la emisión el receptor permance bloqueado. De ello se deduce que el período del impulso debe ser mayor que el tiempo requerido por la energía radiada para alcanzar el blanco más lejano que se desea localizar y retornar a la antena.

Hay momentos, dependiendo de las condiciones meteorológicas, en que es posible captar ecos debidos a blancos situados a distancias superiores al máximo alcance del radar, hecho ocasionado por el incurvamiento del frente de onda, pero estos son casos especiales que dan lugar a falsos ecos sobre la pantalla.

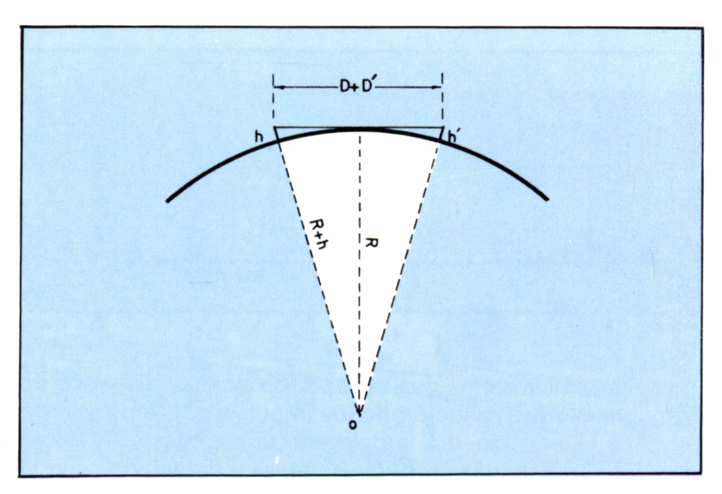
La mínima distancia que puede detectar el radar depende del ancho del impulso. En efecto, si el blanco está situado a una distancia tal que su eco retorna antes de haber acabado la antena de emitirlo, éste no podrá ser recibido y se perderá.

La condición para que dos blancos, situados en la misma dirección respecto a la antena, produzcan ecos independientes (sea posible discernirlos) es que ambos estén

separados entre sí una distancia L tal que cumpla la ecuación:

$$L = \frac{d \cdot c}{2} \qquad (1)$$

donde d es el ancho del impulso y c la velocidad de propagación.



Horizonte radar en función de la curvatura de la Tierra.

Por tanto, cuanto más estrecho sea el impulso, será capaz de discernir blancos más próximos entre sí, pero cuanto más estrecho es el impulso, menos energía es capaz de contener y, por tanto, menor es el alcance máximo que es posible obtener. Esto hace que se tenga que llegar a una solución de compromiso.

Como se ha visto, el impulso, su forma, su tamaño y su frecuencia de repetición, caracterizan la capacidad del radar para detectar blancos.

PROPAGACION DE LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS UTILIZADAS EN RADAR

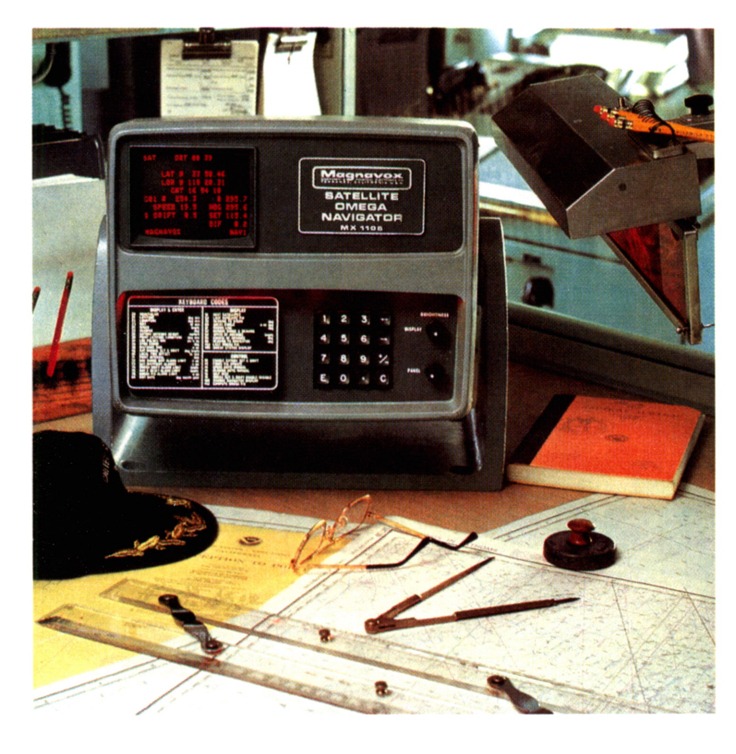
Las frecuencias utilizadas en radar van desde 400 MHz hasta 56 GHz. Mientras se utilicen frecuencias inferiores a 1 GHz la atmósfera se comporta como un medio transparente

a las mismas y su propagación es rectilínea. Para frecuencias mayores el aire deja de ser transparente, empieza a introducir pérdidas y atenúa la energía radiada, pero la propagación continúa siendo rectilínea.

En estas condiciones el límite máximo de alcance del radar debería ser el horizonte geométrico.

La relación sencilla entre la distancia máxima de alcance del radar, D, el radio de curvatura de la tierra, R, y la altura h de la antena es:

$$(R+h)^2 = R^2 + D^2 \qquad (2)$$



Sistema completo de navegación marítima «Magnavox MX 1105», utilizando las posibilidades de los satélites en cualquier hora y tiempo.

o sea

$$D = \sqrt{2Rh} \qquad (3)$$

si se desprecia el término cuadrático en h, que es muy pequeño frente al resto.

Si el blanco está situado a una altura h' de la superficie,

por idéntico razonamiento se tendrá que:

$$D' = \sqrt{2Rh'} \qquad (4)$$

por lo que la distancia total a que podría detectarse el blanco sería:

$$D + D' = \sqrt{2Rh} + \sqrt{2Rh'} \qquad (5)$$

pero, debido a que el índice de refracción del aire disminuye con la altura, las ondas electromagnéticas se incurvan hacia regiones de índice de refracción mayor, es decir, hacia la superficie de la tierra, lo que hace que la distancia máxima que puede alcanzar un radar sea mayor que el valor que se obtiene mediante el cálculo anterior.



Modelo TL 888 del sistema automático de navegación «LORAN C» de Taiyo. Esta unidad, controlada mediante computador, pese a su reducido espacio es capaz de suministrar amplias prestaciones.

Un nuevo factor que viene a modificar la máxima distancia capaz de ser alcanzada por un radar son las condiciones meteorológicas. Las situaciones de inversión de temperatura, el grado de humedad de las diferentes capas atmosféricas etc., pueden dar casos de alcances extraordinarios.

La lluvia produce ecos espúreos, llegando a enmascarar blancos situados dentro o detrás del área de precipitación.

A medida que crece la frecuencia lo hace también la atenuación, por lo que en condiciones meteorológicas malas las frecuencias elevadas resultan ser las más perjudicadas y, en según qué aplicaciones, es el momento en que el radar resulta más útil. Pero la mayor definición se consigue con frecuencias elevadas. Esta aparente contradicción se ha solucionado a bordo de los barcos mediante la instalación

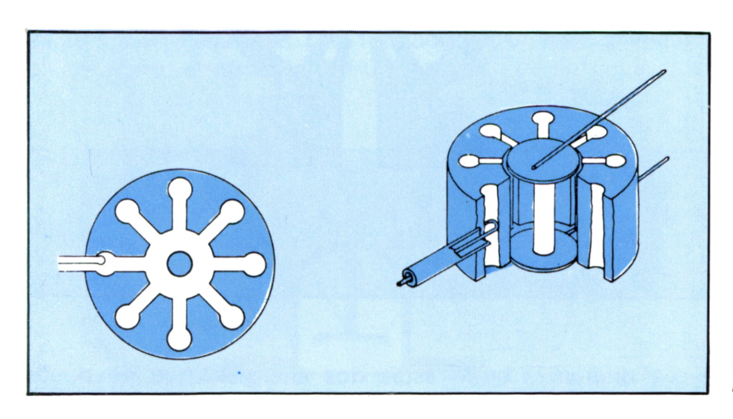
de dos equipos de radar, uno que trabaja en la gama de 3 centímetros de longitud de onda, para alcances elevados y buena definición, y otro que trabaja con longitudes de onda de 10 centímetros, para malas condiciones meteorológicas.

OSCILADORES UTILIZADOS EN RADAR

Cuando se describió el equipo básico de radar se dijo que había un oscilador de potencia y otro local capaz de dar una señal de frecuencia intermedia, al ser batida con la de potencia de entre 20 y 60 MHz.

Ambas señales provienen de osciladores de microondas, así llamados porque generan señales de longitud de onda muy corta.

Los dispositivos clásicos hasta el advenimiento de la era de la electrónica semiconductora fueron el magnetrón y el klistron de reflex. El primero se utilizaba, y se utiliza, como oscilador de potencia, mientras que el segundo encontró su aplicación como oscilador local.



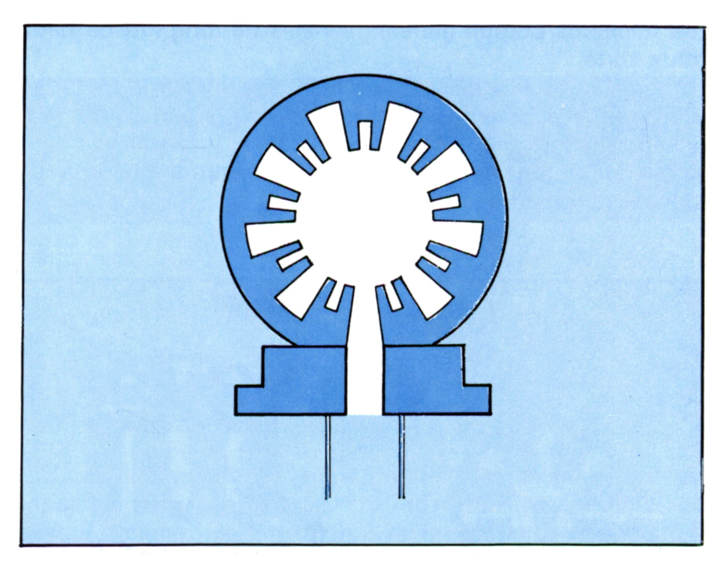
Magnetrón de cavidades resonantes.

El magnetrón

El magnetrón está formado por un ánodo ranurado con cavidades que rodea al cátodo. El ánodo y el cátodo están sometidos a una diferencia de potencial tal que no permite el paso de electrones entre ambos mientras no haya un campo

alterno entre las cavidades. Este campo, además, ha de ser tal que su frecuencia sea la de resonancia de las cavidades.

El efecto que se opera en el magnetrón es el de extraer energía del campo continuo y entregarla al alterno. Este fenómeno ocurre porque los electrones extraídos del cátodo son decelerados continuamente por el efecto alternante del campo variable existente en las ranuras, y llegan al ánodo con menor energía de la que debieran tener si sólo existiera el campo eléctrico continuo, esto hace que la energía entregada al ánodo en forma de calor sea menor que la que le comunica el campo continuo.

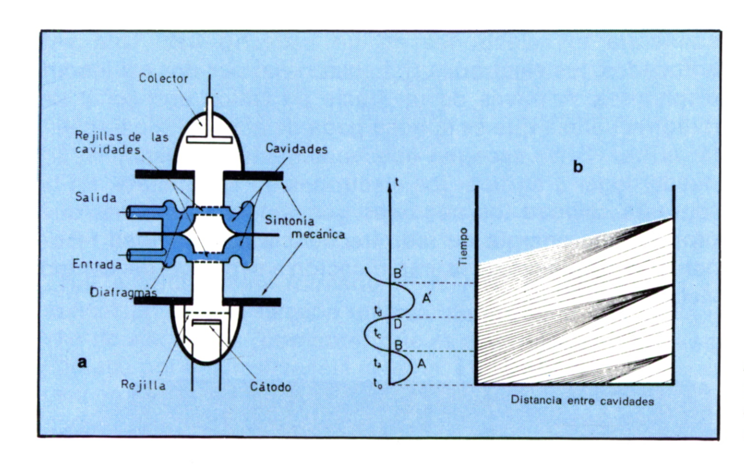


Magnetrón tipo sol naciente.

La diferencia entre estas dos energías, que no puede desaparecer, ha tenido que ser absorbida por el campo de radiofrecuencia.

Bastantes de los electrones que salen del cátodo vuelven a caer sobre él y liberan su energía cinética en forma de calor. Esto hace posible que algunos tipos de magnetrones puedan funcionar sin calentamiento de cátodo, utilizando este efecto.

Para «encenderlos» basta aplicarles un impulso de

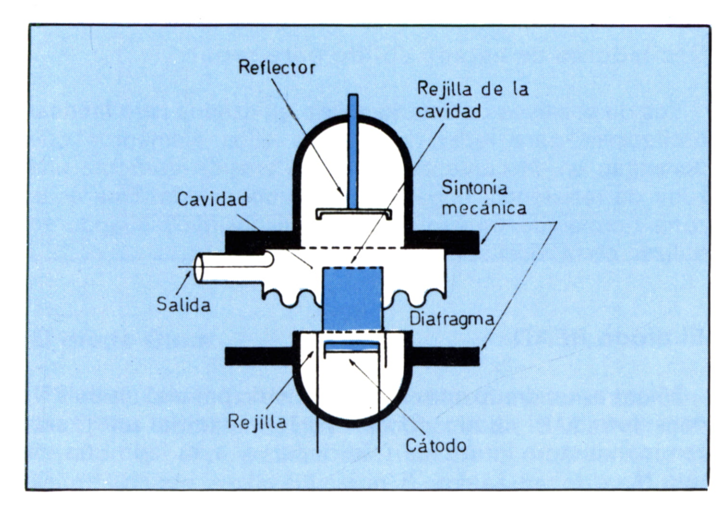


Klistron de doble cavidad (agrupamiento de los electrones en las cavidades del klistron).

modulación lo suficientemente alto y se ponen en marcha en centésimas de microsegundo.

El klistron

Su funcionamiento se basa en la modulación de velocidad de un haz de electrones. Está formado por un cátodo emisor de electrones controlado por un elemento de enfoque, que



Klistron reflex.

concentra los electrones en un estrecho haz. Una vez enfocados, los electrones se hacen pasar por dos cavidades resonantes. A través de un bucle se aplica una señal de radiofrecuencia que es la encargada de acelerar o desacelerar el haz. Si se escogen adecuadamente las distancias se puede llegar a agrupar los electrones en «paquetes». En la segunda cavidad los paquetes generan una corriente que proporciona energía de radiofrecuencia a la cavidad resonante, produciéndose la amplificación a expensas del campo eléctrico continuo.



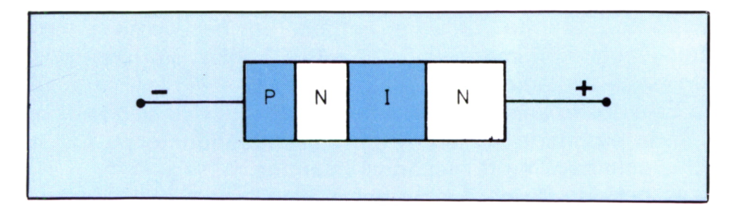
Radiogoniómetro digital automático, modelo TD-L 1100 de Taiyo, que aprovecha la técnica de los microprocesadores y computadores. Especialmente adecuado para embarcaciones de recreo, y buques de pequeño tonelaje.

Osciladores de estado sólido para radar

Los dispositivos de estado sólido, utilizados para fabricar osciladores para radar, son todos ellos elementos que presentan en su curva característica tensión-corriente una zona de resistencia negativa muy pronunciada. Esta es la zona normal de trabajo de estos dispositivos cuando se utilizan como osciladores.

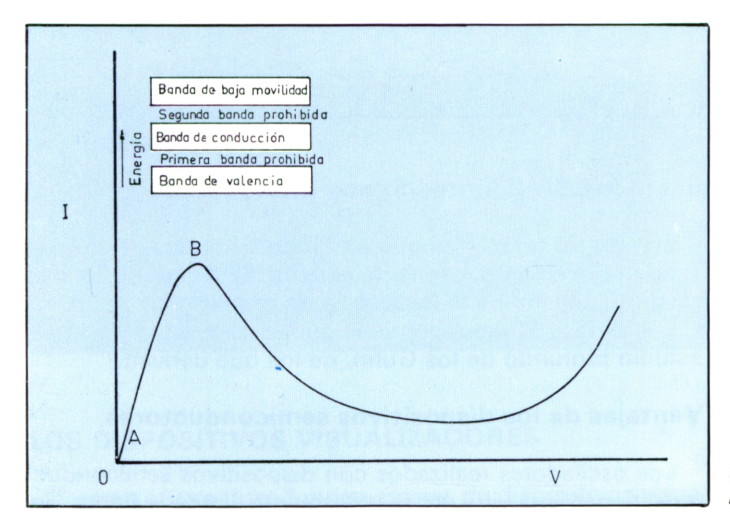
El diodo READ

Mientras un diodo normal está formado por una unión PN, para formar el diodo READ se ha añadido una zona semiconductora intrínseca (sin dopar) y a su lado otra de tipo N.



Diodo READ.

La estructura así formada, P-N-I-N, es capaz, por la aplicación de una tensión inversa, de producir una avalancha de electrones (corriente) que es acumulativa y debe ser limitada por una resistencia externa. En estas condiciones se está en una zona de resistencia negativa, originándose unas oscilaciones determinadas por las características del material.



Característica de respuesta del diodo Gunn.

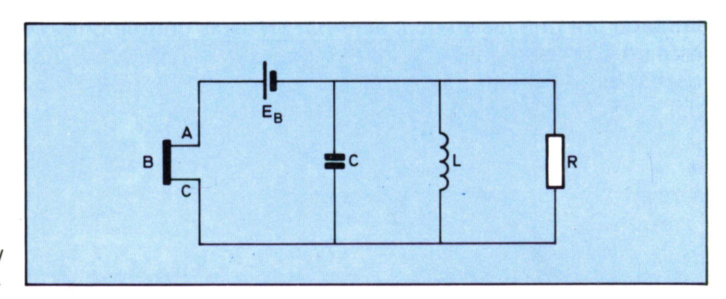
El diodo Gunn

El descubrimiento del diodo Gunn fue puramente accidental. En los laboratorios de investigación de IBM se estaban llevando a cabo medidas con una barra de arseniuro de galio. Cuando se le aplicaron 6 voltios se observó que

espontáneamente la barra entraba en oscilación a una frecuencia ligeramente inferior a 1.000 MHz, sin necesidad de circuitería adicional.

Este hecho tiene su explicación en los niveles de energía y banda prohibida presentes en los semiconductores, según los postulados de la mecánica cuántica.

El período de oscilación del diodo Gunn depende de la velocidad de desplazamiento de la carga de espacio y del espesor del semiconductor, sin que se necesite un circuito exterior para determinarlo.



Esquema de trabajo del diodo LSA.

El diodo LSA (Limited Space-Charge Accumulation)

En esencia no es más que un diodo Gunn al que se le ha añadido un circuito resonante externo. Este circuito externo es el que determina la frecuencia de oscilación.

Los diodos LSA no son más que la consecuencia de un estudio profundo de los Gunn, de los que derivan.

Ventajas de los dispositivos semiconductores

Los osciladores realizados con dispositivos semiconductores tienen una vida útil prácticamente ilimitada frente, por ejemplo, al klistron, que acaba por agotarse al cabo de un cierto número de horas de funcionamiento.

Otra de las ventajas más importantes es que elimina la necesidad del filamento calefactor (consumo de energía adicional) de los klistron y de la fuente de alimentación estabilizada necesaria para alimentarlo.

En cuanto a las ventajas en frecuencia, estos osciladores dan una señal muy pura, con un nivel de ruido muy bajo.

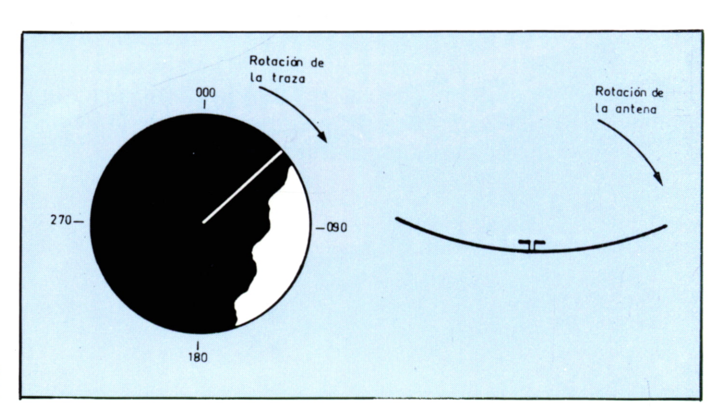


Conjunto de un radar secundario, en donde se observa la antena y la circuitería de mando y control.
(Cortesía: Ceselsa).

LOS DISPOSITIVOS VISUALIZADORES

Existen cuatro tipos fundamentales de dispositivos visualizadores en radar. El tipo A sólo envía información de la distancia a la que se halla el blanco, pero no indica ni su posición angular, ni la altura a la que se halla. El indicador de tipo B da información sobre el ángulo y la distancia mediante un sistema lumínico. El tipo C da la altura y el ángulo, estableciendo el blanco sobre un sistema de coordenadas rectangulares. Por último, el indicador más utilizado es el denominado indicador P que establece la

posición del blanco en distancia y ángulo respecto a la antena, mediante un tubo de rayos catódicos y un barrido radial del haz electrónico.



Rotación del barrido para obtener presentación PPI.

Este tipo de visualizador establece la posición del blanco sobre un plano, por lo que se denomina PPI (Planar Position Indicator o indicador de posición en el plano).

Presentación visual PPI

El PPI consta fundamentalmente de una pantalla visualizadora, formada por un tubo de rayos catódicos en el que se ha aplicado un sistema de barrido radial cuyo origen está en el centro de la pantalla. El haz electrónico se modula con la señal de eco que recibe el radar.

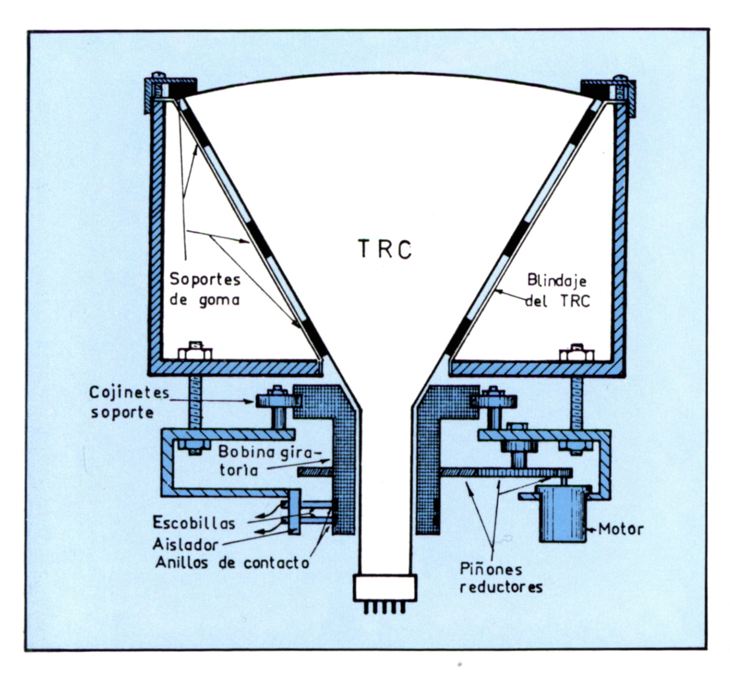
El inicio del barrido se hace coincidir con el inicio del impulso de emisión. Mientras no haya eco se ve una línea tenue que une el centro a la periferia. Cuando se detecta un blanco, aparece sobre la pantalla un punto luminoso más intenso, a una distancia del centro proporcional a la distancia real a la que se halla el blanco de la antena.

La antena gira sincrónicamente con el barrido del TRC, con lo que se pueden representar sobre la pantalla todos los blancos situados alrededor de la antena.

Para identificar plenamente sobre la pantalla la dirección en la cual se halla el blanco se hace que, cuando la antena pase por un punto determinado, se produzca en la pantalla

una señal que lo indique. Conocido este punto los blancos quedan relacionados con él por el ángulo que forman este punto y el radio que pasa por el objeto detectado sobre la pantalla.

Hay dos sistemas para hacer girar el barrido sincrónicamente con la antena; el primero hace girar las bobinas deflectoras alrededor del cuello de TRC, con lo que el campo magnético gira con ellas. El segundo sistema mantiene fijas las bobinas, pero se las alimenta mediante algún medio que produzca un campo magnético giratorio.



Disposición del conjunto de deflexión del radar con bocinas giratorias.

Las bobinas deflectoras giratorias se constituyen de forma que sean coaxiales al tubo del TRC. El mismo soporte sobre las que se devanan posee una rueda dentada, a la que se aplica un motor con un piñón dentado. Al mismo tiempo, el soporte dispone de dos anillos metálicos aislados, a los que van los terminales de las bobinas y se alimentan mediante escobillas que rozan los anillos en su giro.

Las bobinas deflectoras fijas son mucho más fáciles de

montar y de centrar, pero los sistemas adicionales necesarios para hacer que el campo magnético gire son bastante más complejos.

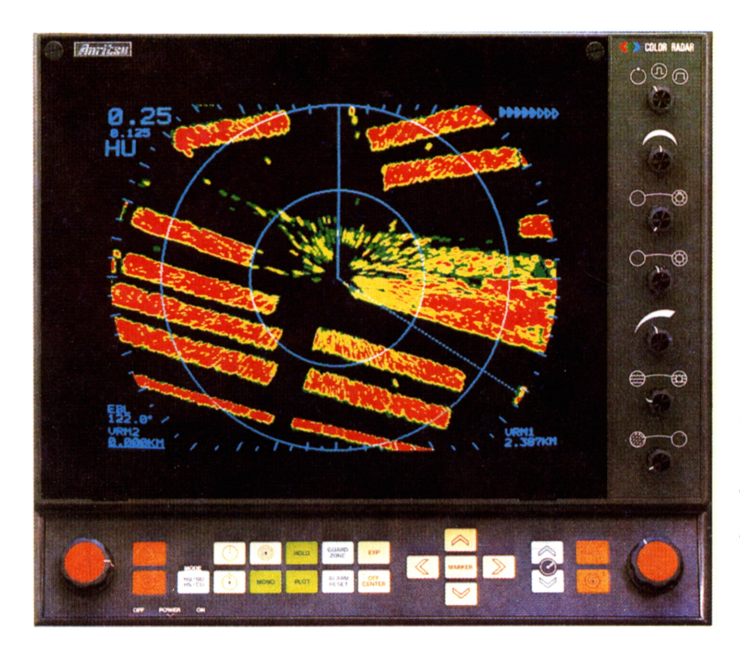
Es en los circuitos anejos al TRC donde son añadidas todas aquellas señales útiles para el operador. Entre otras están las marcas de distancia, que no son más que impulsos que modulan el haz electrónico en instantes perfectamente determinados porque se generan a partir de la base de tiempos. El resultado, al girar el barrido, es la aparición de una serie de anillos a intervalos regulares que indican distancias.



Radar con pantalla en color, de aplicación en la exploración de la superficie marina. (Cortesía: Racal Decca).

Se pueden también introducir marcas de distancia variable. Para ello el radar suele disponer de un potenciómetro de precisión calibrado en millas náuticas. La misión de este potenciómetro no es otra que proporcionar una tensión

fija para cada posición del cursor, que se compara con una rampa generada al principio del barrido. Cuando la tensión de la rampa es igual a la del potenciómetro, se dispara un impulso que modula el haz de electrones. En la pantalla aparecerá un anillo, cuya distancia a la antena se podrá leer en el mando del cursor del potenciómetro.



Modelo de radar de alta sensibilidad con pantalla en color, que permite observar las imágenes a pleno día sin necesidad de utilizar un visor. Va provisto, entre otras opciones, de ampliación de imagen, descentrado, etc.
(Cortesía: Racal Decca).

Otra señal que se suele añadir es la marca del origen de ángulos para la determinación de la posición del blanco respecto a una dirección determinada. Esto normalmente se hace mediante la generación de un impulso, gobernado por una leva que es accionada en su giro por la antena. En la pantalla aparece entonces un destello radial que indica el origen de la posición angular.

Otro sistema de representación visual de blancos para equipos sofisticados, derivado del PPI, es el que utiliza una segunda pantalla para visualizar la tercera dimensión: la altura. Estos equipos son muy útiles para el control aéreo en zonas de cruce de diversas líneas aéreas y para la vigilancia

aérea, ya que se obtiene una posición espacial inequívoca del avión responsable del eco.

ANTENAS PARA LA EMISION Y RECEPCION EN RADAR

Las frecuencias utilizadas en radar permiten la construcción de antenas de tamaño relativamente pequeño, con ganancias elevadas y haces de emisión muy estrechos.



Dos modelos de unidades de antena de Racal Decca, con guiaondas ranurado de alimentación central.

Condiciones generales que debe cumplir una antena de radar

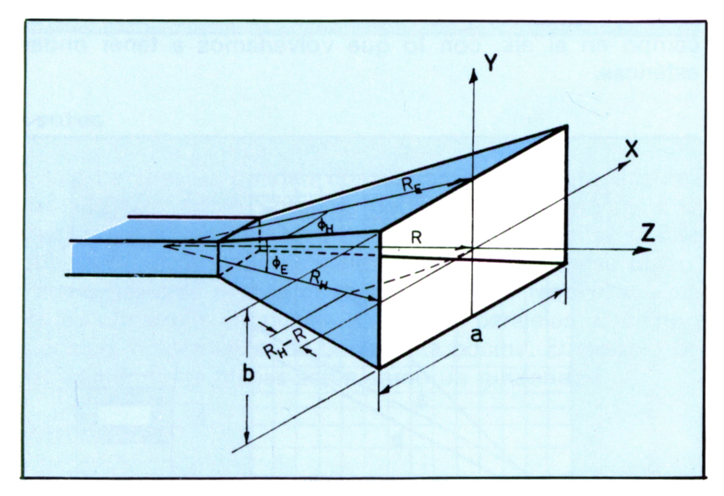
La condición fundamental que debe cumplir una antena de radar es la de concentrar la energía a radiar en un estrecho

haz para que exista poca dispersión de la misma y así poder detectar blancos cercanos.

Una segunda característica, también fundamental, es que transfiera al espacio la mayor cantidad posible de la energía que le llega del transmisor, en otras palabras esto significa que las impedancias de la antena y del aire deben estar adaptadas.

La reversibilidad de la antena como emisora o como receptora hace que estas condiciones sean también fundamentales para la antena transmisora.

Uno de los tipos de antena más comúnmente usados en radar es el tipo de radiador de apertura.



Bocina electromagnética.

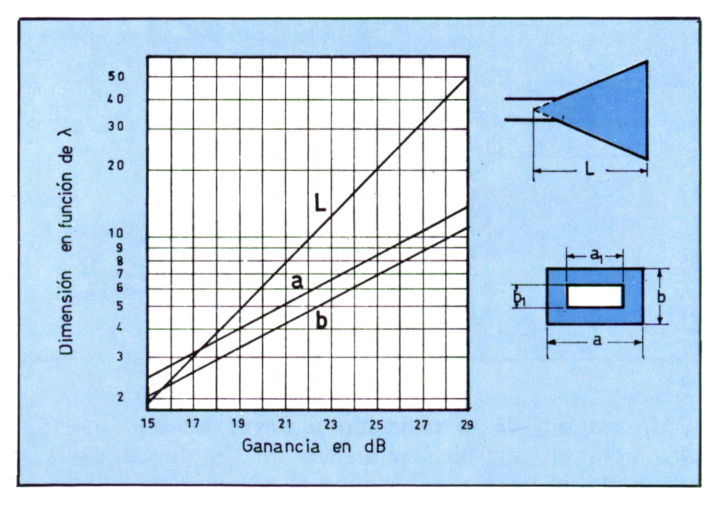
Un estudio de la radiación a través de una apertura involucra un análisis exahustivo del frente de onda y comporta un bagaje matemático altamente complicado, lo cual no es el propósito de esta obra divulgativa, baste decir que la ganancia que se obtiene para una apertura rectangular de lados *a* y *b* viene dada por la fórmula:

$$G = \frac{4\pi a \cdot b}{\lambda^2}$$

donde λ es la frecuencia de la radiación.

Bocinas electromagnéticas

En principio, una antena de abertura podría ser un guíaondas abierto por un extremo. Pero la adaptación de impedancias con el aire es bastante pobre. Una forma de obtener mejor adaptación consiste en ensanchar o acampanar los bordes del guiaonda, de forma que el frente de onda se expanda a medida que llega al extremo abierto. Pero para que una bocina radie de foma efectiva es necesario que los ángulos de apertura sean pequeños, para evitar que el frente de ondas hasta ahora plano llegue esférico a los bordes de la guiaonda. Por otro lado, tampoco se puede tener cualquier longitud del ensanchamiento, ya que esto ocasionaría un retraso considerable del campo en los bordes respecto al campo en el eje, con lo que volveríamos a tener ondas esféricas.

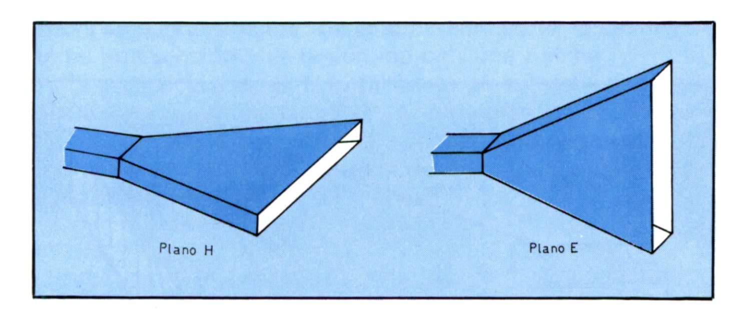


Abaco para el cálculo de las bocinas electromagnéticas.

Bocinas sectoriales

Bocinas sectoriales son bocinas en las cuales el ensanchamiento se produce en una sola de las dimensiones. Si la dimensión ensanchada es la altura se llama bocina sectorial de plano *E*, mientras que si la dimensión ensanchada es la altura se llama bocina sectorial de plano *H*.

Estas configuraciones permiten una radiación en abanico en una de las direcciones, mientras que el haz es estrecho para la otra.



Bocinas sectoriales.

Lentes

Las bocinas se pueden considerar como impracticables para su uso como antenas, debido principalmente a la desmesurada longitud para que sean efectivas si se quiere que el frente de onda de salida pueda considerarse plano. Para evitar este problema se hace uso de las lentes. Las lentes consisten en placas metálicas, paralelas al campo eléctrico, colocadas en la boca de la bocina. El espacio de separación entre placas actúa como un guiaondas.

Reflectores

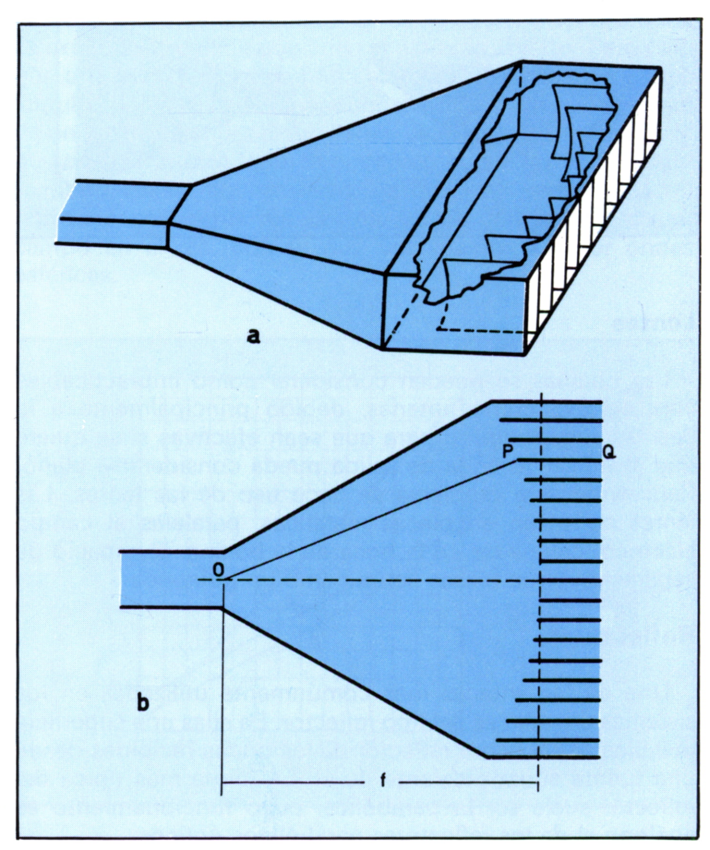
Una de las antenas más comúnmente utilizadas en los sistemas de radar es del tipo reflector. En ellas una superficie metálica actúa como reflector de las ondas recibidas desde una fuente situada delante de él. La forma más típica del reflector suele ser la parabólica, cuyo funcionamiento es análogo al de los reflectores parabólicos ópticos.

La parábola es una curva en la que todos sus puntos equidistan de otro lamado foco y de una recta llamada directriz.

Si situamos en el foco una fuente radiante óptica puntual, todos los rayos que chocan con el paraboloide son reflejados de forma que son paralelos.

Sustituyendo la fuente óptica por otra de microondas las

cosas no funcionan igual, debido a que la longitud de onda es una fracción apreciable de las dimensiones del reflector. El haz resultante del reflejo en el paraboloide no es paralelo, sino que resulta ligeramente divergente. El diagrama de radiación de un paraboloide consiste en un lóbulo principal



Bocina con lente electromagnética.

estrecho en el eje de la parábola y varios secundarios de intensidad decreciente.

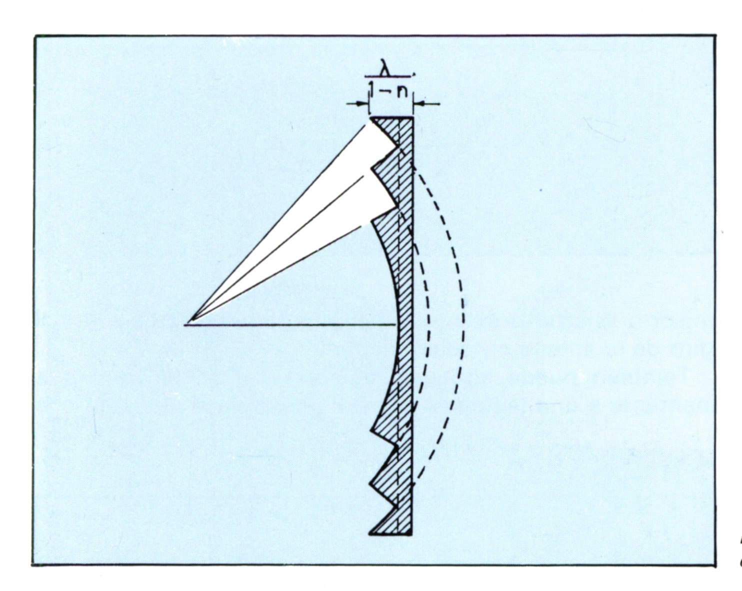
Una forma de eliminar los lóbulos laterales consiste en establecer una forma de eliminación que varía a medida que se acerca a los bordes de la parábola.

Para obtener radiaciones en abanico se utiliza un cilindro

paraboloide cerrado por dos láminas planas, al cual se alimenta con una bocina situada en el foco.

El reflector de doble parábola se utiliza bastante en radares marinos. Esta forma se obtiene haciendo girar la parábola sobre su eje de simetría. De la superficie curva resultante se toma una sección y se la ilumina con una bocina.

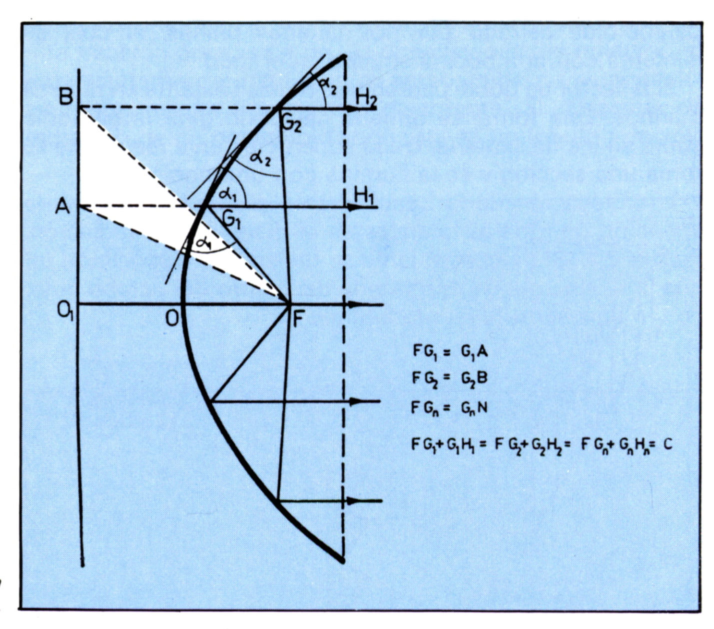
La colocación de la bocina frente al reflector origina la aparición de lóbulos laterales en el diagrama de radiación. Para evitar este inconveniente se utiliza una disposición tal que la bocina queda desplazada del centro del paraboloide, con lo cual se evita la interferencia.



Escalonamiento de los elementos de la lente.

El pedestal de antena

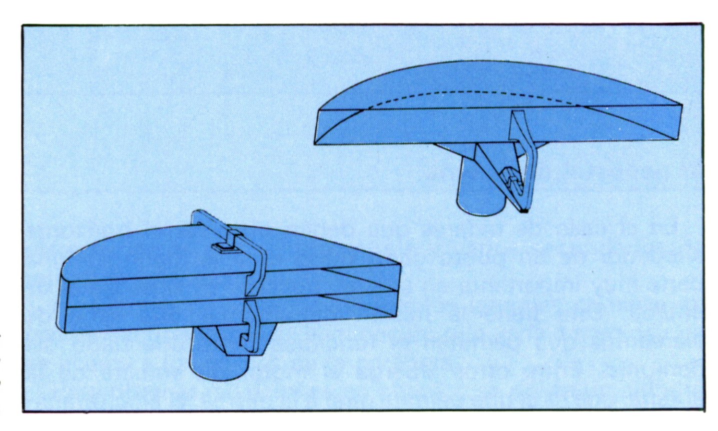
En el caso de radares que deben observar el horizonte alrededor de un punto dado (caso radares marinos), una parte muy importante en su construcción es el pedestal de antena. Este tiene la misión de albergar una serie de elementos que permiten el funcionamiento adecuado del conjunto. Entre otros alberga el motor de arrastre de la antena, que es el que permite girar a la misma; el sincrotrans-



Reflector parabólico para las ondas de radar.

misor o sincrorresolver, que permite obtener datos sobre el giro de la antena en cualquier instante.

También puede contener sistemas de calefacción para mantener a una temperatura estable el interior de la antena



Utilización de antenas independientes para la transmisión y para la recepción.

cuando ésta no funcione; asimismo puede albergar el modulador, el transmisor e incluso el receptor, o al menos un amplificador de frecuencia intermedia.

Duplexores

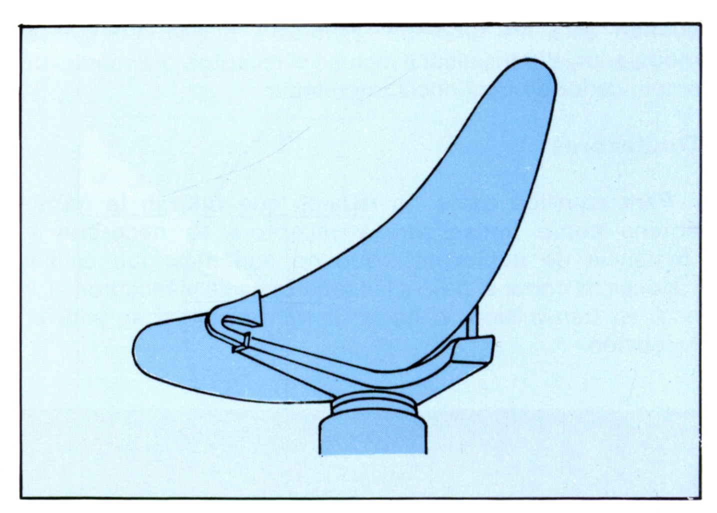
Para aquellos casos de radares que utilizan la misma antena como transmisora y receptora es necesario la existencia de duplexores, que no son más que células capaces de cortar el paso a las señales hacia el receptor, si se está en transmisión, o hacia el transmisor, si se está en recepción.



Enormes antenas buscan en el cielo objetos móviles. La gran superficie de la antena, permite captar señales muy débiles.

El bloqueo del receptor se lleva a cabo mediante un descargador que se excita cuando es alcanzado por la energía de transmisión, produciendo un cortocircuito en el punto de descarga.

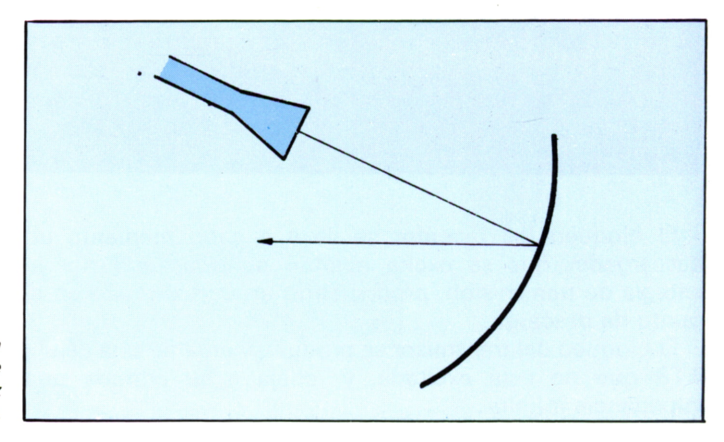
El bloqueo del transmisor se produce mediante una célula ATR que no está excitada, y refleja a su entrada una impedancia infinita.



Antena con reflector de doble parábola.

El radar de visión lateral

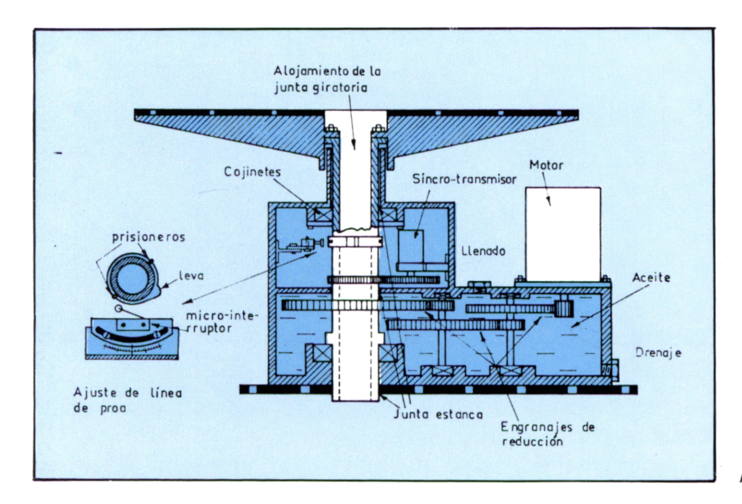
El radar de visión lateral aérea transportado, que fue desarrollado en la década de los cincuenta, es un sistema de radar destinado a la observación de la superficie terrestre, cuya principal ventaja estriba en la no dependencia de las condiciones meteorológicas. El principio de trabajo del sistema consiste en restituir los ecos de radar, reflejados por la superficie terrestre, en forma de imagen.



Disposición empleada para que la bocina no se interfiera con el haz reflejado.

La señal recibida se registra a bordo o bien numéricamente sobre banda magnética o sobre película fotográfica.

Para este tipo de radar suelen utilizarse dos tipos de antena, de apertura real y de apertura sintética.

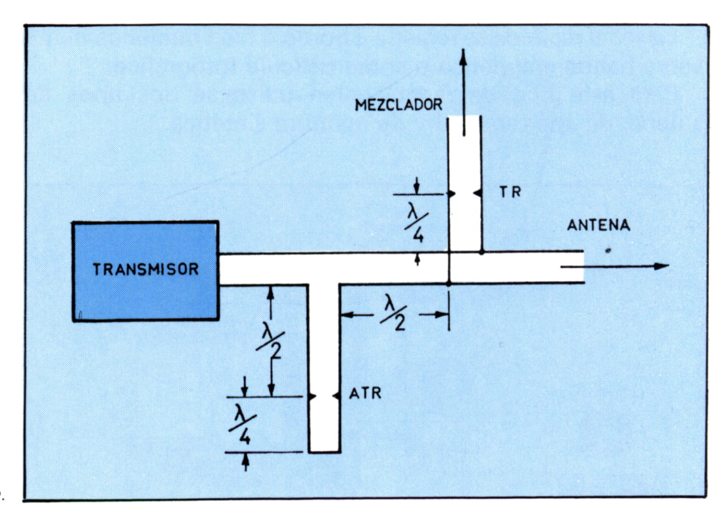


Pedestal de antena.

Radar de apertura real

Para explorar una zona de terreno, el avión que lleva a bordo este tipo de radar se sitúa a una altura *h* y con la antena del radar enfocada hacia un lado explora franjas de terreno. Si el terreno fuera plano la amplitud del eco radar recibido sería nula, ya que éste es proporcional a la sección recta (casos de ríos y mares).

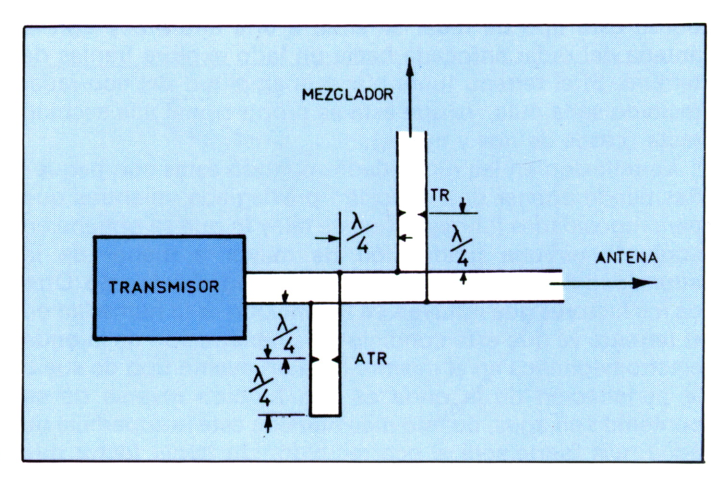
La reflexión en las rugosidades cuando éstas son pequeñas tiende a tener una dirección privilegiada, mientras que para rugosidades fuertes no existe tal, y lo que se obtiene en conjunto es una graduación de mayor a menor de la intensidad del eco en función de la rugosidad del suelo. Otro de los factores que influyen en la reflexión es la humedad en el terreno, ya que ésta condiciona la penetración de la onda electromagnética en el mismo. Para un mismo tipo de suelo la penetración de la onda es una función inversa de su contenido en agua, cuanto más húmeda esté la superficie de agua más fuerte será el eco recibido. Un tercer factor que



Duplexor serie.

aumenta o disminuye la intensidad del eco es la distribución espacial de los objetos sobre el suelo.

El principal problema que nos encontramos en los radares de apertura real es que su resolución en la dirección del vuelo del avión depende de la distancia en que se halle el objeto del avión, empeorando cuanto más alejado esté. La resolución en la dirección perpendicular al movimiento del



Duplexor paralelo.

avión es independiente de la distancia. Lo que interesa es que ambas resoluciones se mantengan aproximadamente iguales, lo que es difícil en este tipo de radar.



Varios tipos de radares Racal Decca para la exploración marina, provistos de pantallas de gran sensibilidad.

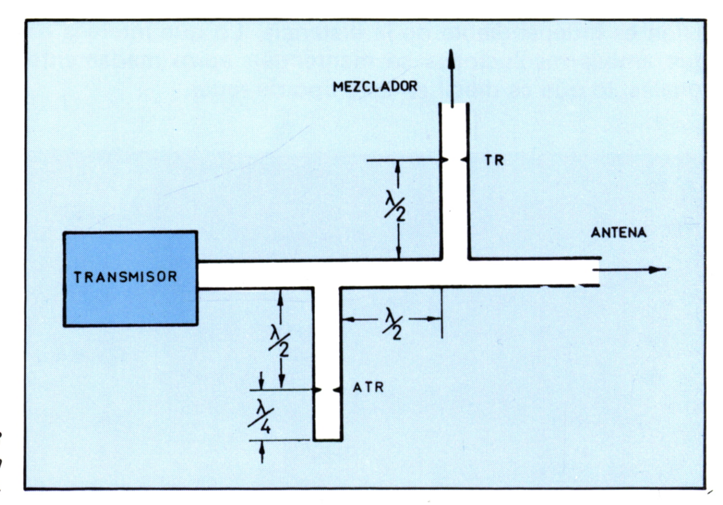
Radar de apertura sintética

Una forma de hacer que la resolución en la dirección del movimiento del avión sea independiente de la distancia al mismo, consiste en crear un *array* de antenas, cuya longitud sería la distancia que el avión puede recorrer viendo «a través del radar» un objeto determinado.

Para conseguir esto se utilizan técnicas de procesado de señal.

Uso del radar de visión lateral

Aunque su diseño original estuvo encaminado a la

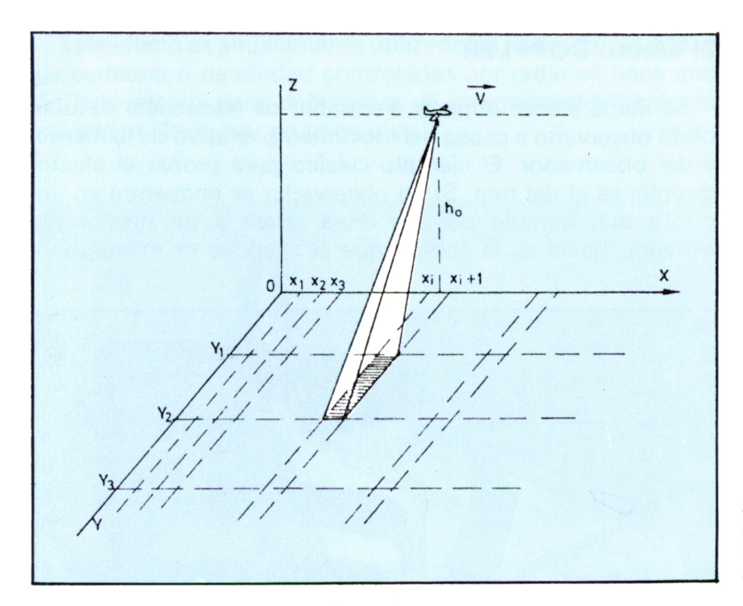


Duplexor con célula TR en paralelo y ATR en serie.

utilización militar, se está aplicando en este momento en campos tan dispares como la cartografía, los análisis de terrenos para el descubrimiento de minas y en la agricultura: análisis de la humedad del suelo en campos de regadío y seguimiento del desarrollo en una plantación determinada.



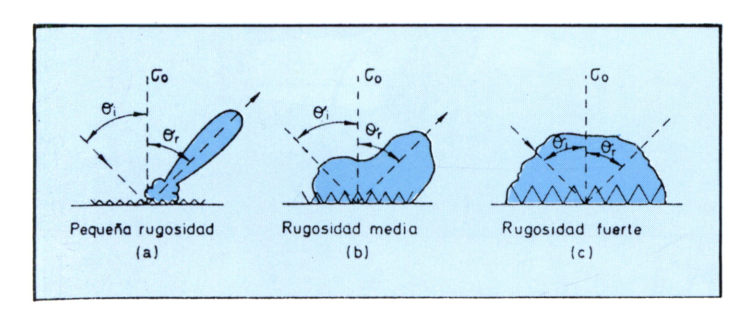
Radar antichoque de ondas milimétricas, montado sobre un automóvil. Este radar trabaja a 35 GHz y posee eliminación automática de ecos parásitos, y discrimina obstáculos dentro y fuera de la carretera. (Cortesía: ITT).



Barrido de la superficie terrestre con un radar de visión lateral aerotransportado.

APLICACIONES DEL RADAR

Como ya se ha dicho, la principal aplicación del radar está en la radiolocalización. Pero ésta no es su única aplicación interesante en este momento. En las nuevas aplicaciones se

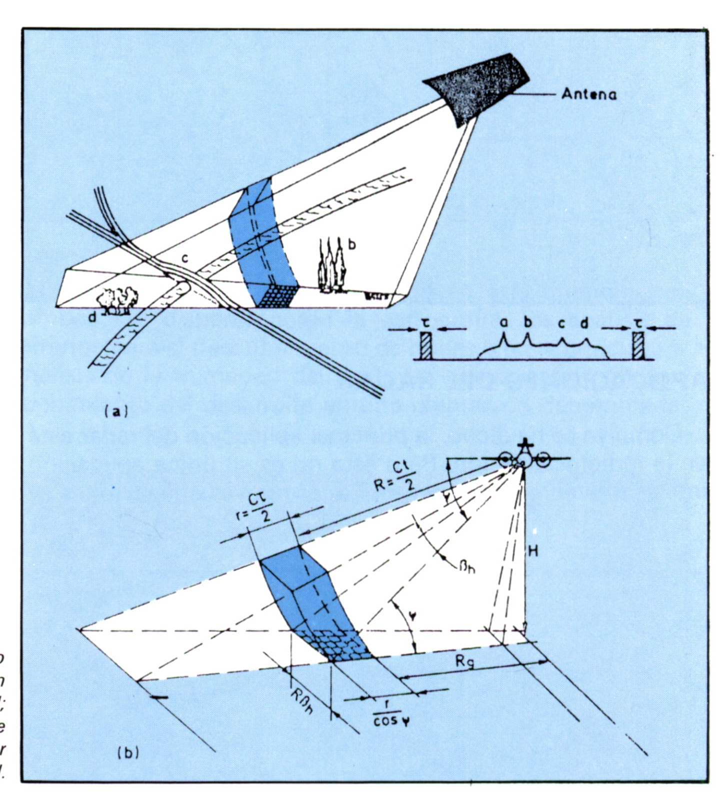


Sección recta de radar en función de la rugosidad del terreno.

sigue utilizando la propiedad básica del radar consistente en que un objeto situado ante la antena emisora produce un eco que es retornado al radar.

El efecto DOPPLER

Se llama efecto *doppler* al cambio de frecuencia de una onda observado a causa del movimiento relativo de la fuente y del observador. El ejemplo clásico para probar el efecto doppler es el del tren. Si un observador se encuentra en un punto determinado de una línea férrea y un tren viene silbando hacia él, el sonido que él escucha es más agudo



a) Esquema de principio de funcionamiento de un radar de visión lateral; b) Geometría y superficie de resolución de un radar de apertura real.

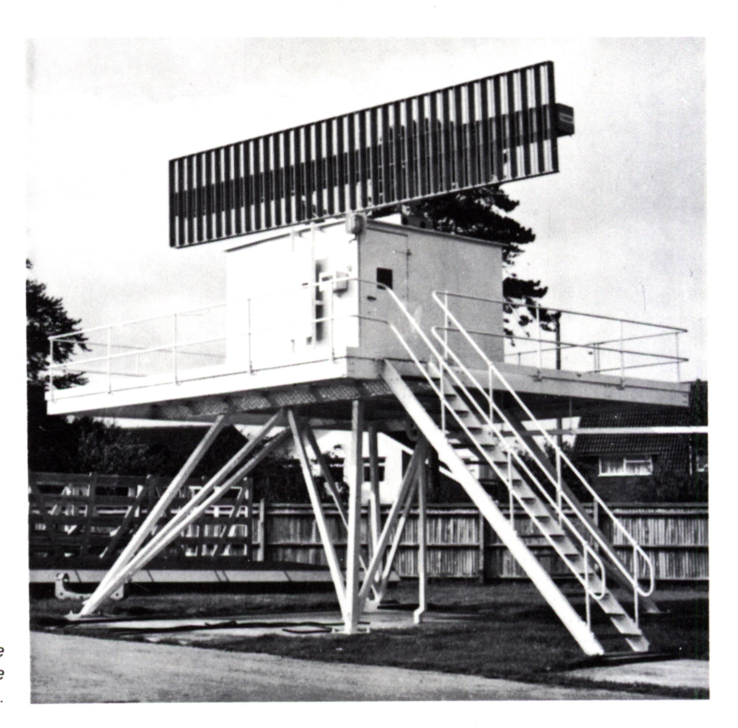
que el del propio silbato cuando el tren está en reposo con respecto al observador. Cuando el tren le sobrepasa, el sonido del silbato parece más grave. Este efecto es debido a que a la velocidad del sonido se le suma o se le resta la velocidad de traslación del tren.

Este efecto es ampliamente utilizado en radar. En las zonas de carretera o de ciudad controladas por radar se hace uso de este efecto para determinar el sobrepasamiento de la velocidad límite por un vehículo.



También la navegación marítima utiliza los sistemas de radar. En la fotografía puede verse la antena de un sistema de control para la navegación.

Este mismo efecto permite a los aviones detectar su velocidad respecto de tierra. Los navegadores doppler proporcionan a los aviones un medio para calcular la desviación de una frecuencia de una señal de radio reflejada por el suelo, de este modo la computadora de a bordo puede calcular la velocidad con respecto a la Tierra.



Prototipo de antena de radar tipo LVAC (de apertura vertical).

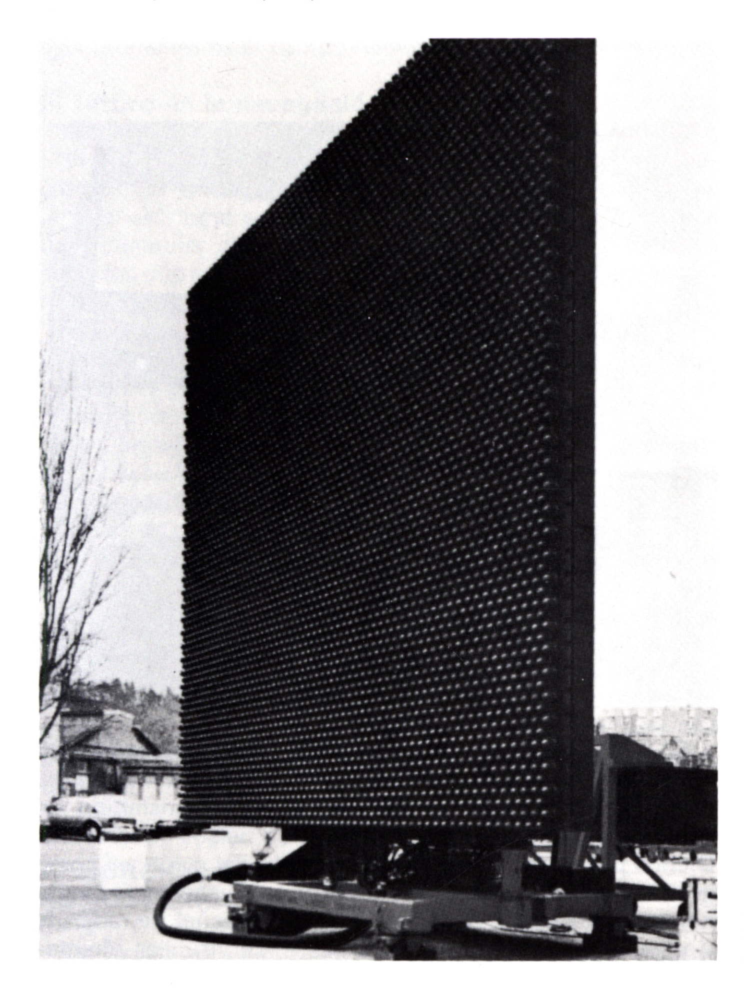
La mayor parte de estos sistemas doppler proporcionan continuamente información de la altura al suelo, de una forma lo suficientemente refinada como para controlar un lector automático de mapas y localizar el avión perfectamente.

Otros sistemas de radar para navegación aérea y marítima

Hay una enorme variedad de equipos de radar que son

usados tanto en pequeños barcos como en grandes complejos militares de tierra.

El sistema más simple y básico de los radares de aeropuerto localiza un avión mediante la rotación de un tren continuo de pulsos, transmitidos a través de un haz estrecho en azimut, y midiendo el tiempo que tardan los pulsos en ser reflejados por el avión. La posición del avión, normalmente, se visualiza mediante un tubo de rayos catódicos o indicador planar de posición (PPI).



Las nuevas antenas de radar se parecen cada vez más a los paneles solares.

Desde la última guerra mundial se han desarrollado innumerables técnicas en radar para ayudar a los controladores, que deben luchar cada día con el incremento del tráfico aéreo. Entre ellas están el procesamiento extensivo de señal y los circuitos de indicación de movimiento del blanco, que han ayudado a solucionar muchos problemas de ecos falsos y de ecos parásitos.

Pero quizás las más importantes mejoras en radares de tierra han sido el uso de un radar secundario, en el caso de control de tráfico aéreo, y la evolución de los radares en tres dimensiones para uso militar.



Sala de controladores aéreos de un aeropuerto español, en donde pueden observarse las pantallas de dos sistemas radar. (Cortesía: Ceselsa).

El radar de vigilancia secundario trabaja enviando un pulso de radar desde un transmisor. Este pulso es recibido a bordo del avión por un transponder, y retransmitido en frecuencia diferente como un grupo de pulsos codificados. Dichos pulsos incluyen la identificación del avión así como la altura leída sobre el altímetro del avión. El equipo se monta normalmente sobre el radar primario y la señal de radar de vigilancia secundario, en otros casos, se visualiza directa-

mente sobre el PPI, con el propósito de identificación, o es procesada directamente por la computadora del sistema.

El radar clásico con el haz rotativo no suministra información de la altura; en efecto, la forma del haz se diseña para que pueda cubrir tanto espacio vertical como sea posible. Para obtener información de la altura es necesario un radar que explore el espacio vertical.

Las continuas mejoras en las antenas de microondas y sus componentes han hecho posible la aparición de un radar en tres dimensiones. Su principal campo de explotación hasta este momento es el campo militar.

El futuro en la navegación aérea

El radar ideal para navegación debería dar tanta información como fuera posible acerca del avión en el área de interés, así como estar libre de parásitos y poder funcionar bajo cualquier condición atmosférica. Estos criterios, que son a los que se se están dirigiendo las actuales investigaciones, han sido parcialmente conseguidos.

Pero hay que distinguir entre los radares civiles y los radares militares. En los primeros existe un deseo por parte del avión y de tierra de colaboración mutua, mientras que en los segundos no existirá tal colaboración.

Las investigaciones hacia el futuro se dirigen hacia la militarización de los componentes, a conseguir mejores prestaciones de los mismos, así como al uso extensivo de las técnicas de procesamiento digital de la señal y de almacenamiento para conseguir mejoras en las técnicas complejas de corrección de errores.

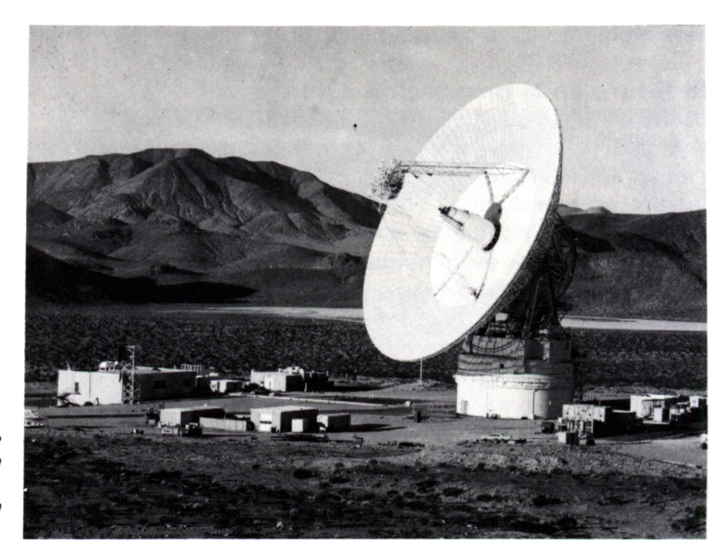
Un ejemplo de estos desarrollos son las nuevas antenas formadas por un array de componentes donde cada uno de los elementos que lo forman son en realidad receptores y transmisores en miniatura, y el haz es girado electrónicamente. Un sistema como éste permitiría tener una alta protección contra el ruido, la interferencia y las fluctuaciones de señal.

APLICACION DEL RADAR A LA ASTRONOMIA

En 1946, el ejército de los Estados Unidos consiguió

detectar la Luna mediante un radar. Esto iniciaba una nueva era en el estudio de los astros.

El cálculo de distancias entre la Tierra y un astro mediante el radar es sumamente sencillo (ya se ha visto que una de las aplicaciones concretas del radar consiste en localizar el blanco y dar su distancia y posición relativa respecto de la antena), pero es que además permite conocer el radio del astro y su movimiento relativo respecto a la Tierra.



Antena de 64 metros de diámetro ubicada en Goldstone, California. (Cortesía: Jet Propulsión Laboratory).

El espesor se averigua calculando la dirección del eco recibido; en efecto, éste depende directamente del espesor, es decir, del radio del objeto con el que choca la onda. El movimiento relativo respecto de la Tierra se logra saber gracias al efecto doppler. Este efecto hace que una onda al chocar con un objeto en movimiento cambie ligeramente la frecuencia de la onda eco. Este desplazamiento de frecuencia es proporcional a la velocidad radial del astro respecto de la antena.

Otro factor que puede ser conocido gracias al radar es la velocidad de giro del cuerpo celeste con el que choca la onda. No todos los puntos de un planeta en rotación tienen la misma velocidad con respecto a la Tierra, por lo que si se

envía una onda de ancho de banda estrecho, el eco recibido se habrá ampliado en cuanto al ancho de banda, lo que permitirá conocer la velocidad de rotación. En realidad habrá que realizar varias medidas para diversas posiciones del cuerpo celeste ya que también se ignora, inicialmente, el eje de rotación.



El enorme tamaño de la antena parabólica de 64 metros de diámetro, se aprecia al compararla con el hombre que está sobre ella.

La única condición necesaria para poder llevar a cabo todas estas mediciones es la potencia de emisión, que debe ser muy elevada.

Existe un gran inconveniente para la utilización del radar en astronomía, y es que los ecos que se reciben son muy débiles y están enmascarados por el ruido de fondo de cielo.

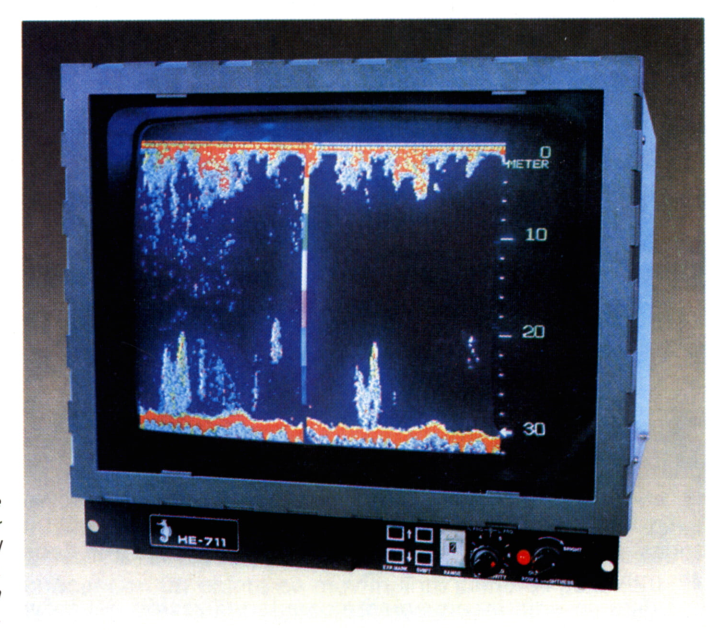
Aún con todos estos inconvenientes se llevan a cabo medidas de los diversos planetas de nuestro sistema solar.

El éxito más espectacular fue la detección de Venus, llevada a cabo por investigadores del Lincoln Laboratory en

1958. Este éxito pudo ser logrado porque se dispuso como preamplificador un *maser* (amplificador de microondas por emisión estimulada de radiación) cuya característica fundamental es su ausencia casi total de ruido, se utilizó una forma de onda conocida como emisión y luego se buscó entre todas las señales de radio recibidas una forma de onda de eco parecida a la de emisión, porque la potencia de transmisión era enorme.

A partir de esa fecha se concentraron los esfuerzos en la localización de nuevos planetas. En 1962 se conseguía en la URSS detectar Mercurio, en 1963 Marte, etc.

Con el radar también pueden detectarse meteoritos y auroras boreales, y efectuar mediciones más precisamente que con los métodos ópticos de uso corriente.



Registrador de profundidad en color Hondex, basado en el sonar. (Cortesía: Honda Electronics).

EL SONAR

La palabra sonar deriva de la frase inglesa *«Sound Navegation and Ranging»*, que literalmente significa «nave-

gación y alcance por sonido», aunque una traducción más aproximada a la utilización que tiene este dispositivo podría ser «ayudas a la navegación por determinación de distancias obtenidas por el sonido».

Principios del sonar

El principio de funcionamiento del sonar es análogo al del radar. Mediante un transductor ultrasónico fuertemente direccional, se emite un impulso de energía localizado en la banda de los ultrasonidos (más allá de 20 kHz) por debajo

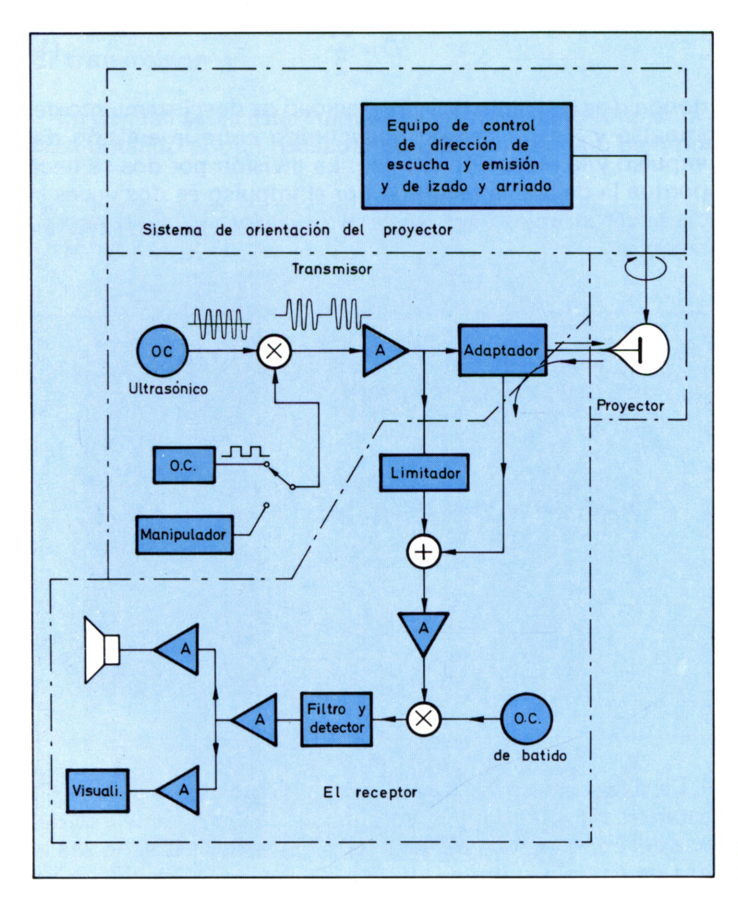


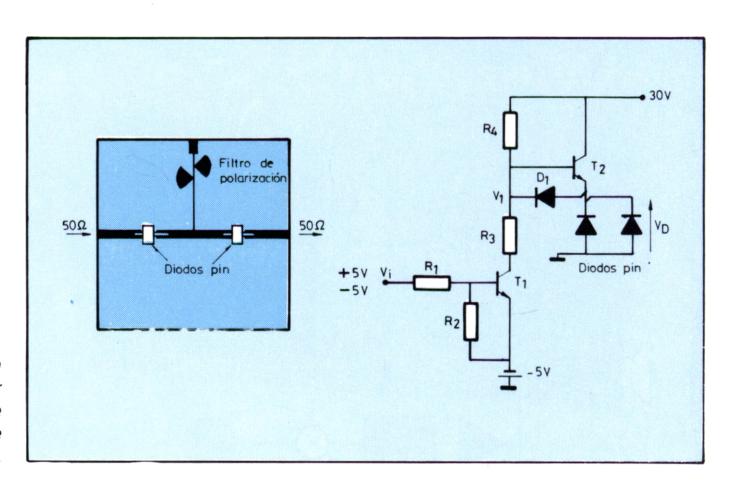
Diagrama de bloques de un equipo de sonar.

del agua. Esta energía viaja en línea recta a una velocidad aproximada de 1.500 m/s. Cuando encuentra un obstáculo en su trayectoria choca con él y parte de la energía se refleja produciendo un «eco». Este «eco» es detectado por un receptor, que lo amplifica y lo transforma en una señal tal que es fácilmente representable sobre una pantalla, o bien en otra señal audible capaz de ser captada por el operador del sonar.

Sabiendo la velocidad de desplazamiento de la onda emitida en el agua (1.500 m/s) y el tiempo transcurrido desde su emisión, es fácilmente calculable la distancia a la que se halla el obstáculo mediante la fórmula:

$$D = \frac{v \cdot t}{2} \qquad (1)$$

donde *d* es la distancia, *v* la velocidad de desplazamiento del impulso y *t* es el tiempo transcurrido entre la emisión del impulso y la recepción del eco. La división por dos se hace porque la distancia recorrida por el impulso es dos veces la distancia al objeto (va hasta el objeto y vuelve al equipo receptor).



Realización práctica de un duplexor para un radar marino. A la derecha se observa la fuente de alimentación.

La dirección en la cual se encuentra el objeto detectado estará mejor precisada cuanto mayor sea la directividad del haz del impulso emitido, esto es, cuanto más estrecho sea el haz de energía emitido.

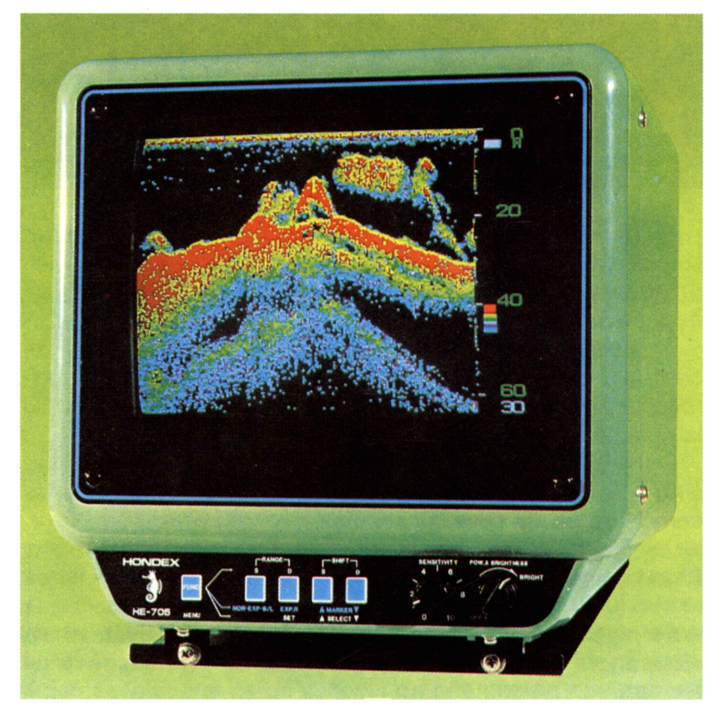
Una peculiaridad del sonar es que también puede ser utilizado en «escucha». En este caso se suprime la emisión del impulso y solamente se captan los ruidos submarinos. La dirección del objeto que produce «ruido» viene determinada por la dirección del receptor en la cual la intensidad del sonido recibido sea máxima.

Composición de un equipo de sonar

Un equipo de sonar clásico suele estar formado por cuatro subsistemas básicos, a saber: el *transmisor,* el *receptor,* el *proyector* y el *sistema de orientación del proyector.*

El transmisor

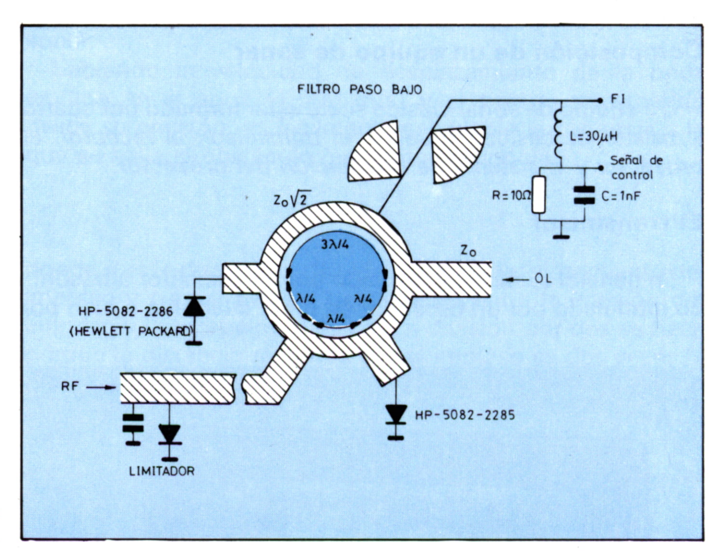
En general suele estar formado por un oscilador ultrasónico modulado por un oscilador de onda cuadrada o bien por



Sonda marina con pantalla a color de 10 pulgadas y lectura digital de la profundidad. Su gran resolución permite detectar con gran facilidad bancos de peces. (Cortesía: Honda Electronics).

un manipulador, de forma que a la salida produce impulsos de energía ultrasonora de corta duración.

Esta señal es aplicada a un amplificador y a un adaptador que adecua la señal al proyector para que la transmisión de energía sea máxima.



Mezclador equilibrado para un radar marino.

En los equipos actuales el oscilador ultrasonoro utilizado suele ser del tipo Hartley, y en los antiguos solía consistir en un alternador muy revolucionado que producía una señal de frecuencia ultrasonora.

El oscilador de onda cuadrada es el encargado de controlar la frecuencia y duración de los impulsos ultrasonoros, por lo que es realmente la base de tiempos en función de la cual se realizan los cálculos de distancia.

El manipulador no es común a todos los equipos de sonar, sino que lo llevan aquellos que utilizan el sonar además como equipo de comunicaciones.

El proyector

Es el encargado de transformar la energía eléctrica en ultrasonora y viceversa, ya que es, además del transmisor, el receptor.

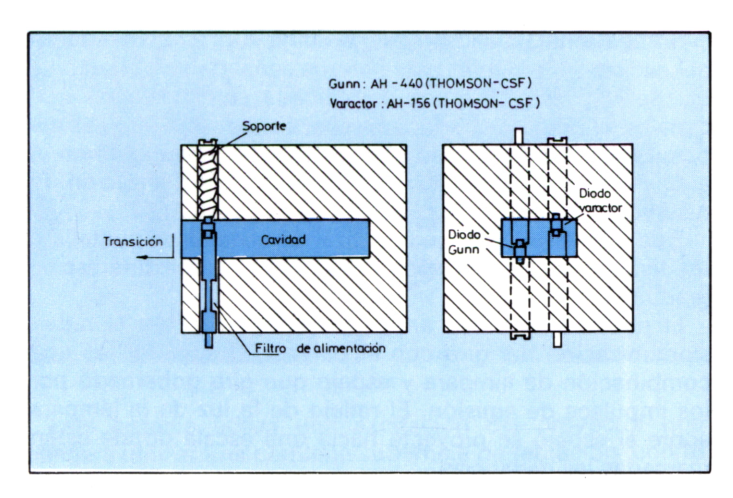
En los equipos más antiguos estaba constituido por un oscilador piezoeléctrico y en los modernos por un oscilador a magnetoestricción.

La piezoelectricidad es una propiedad de algunos materiales (como el cuarzo) de producir una fuerza mecánica cuando se le aplica una tensión eléctrica, o una tensión eléctrica cuando se le aplica una fuerza mecánica.

La magnetoestricción es, por su parte, la propiedad que tienen ciertos materiales ferromagnéticos de deformarse por la aplicación de campos magnéticos.

Por tanto, aprovechando las características de estos materiales pueden «traducirse» las ondas eléctricas en ondas ultrasonoras y viceversa.

En general este oscilador está encerrado en una caja estanca llena de bióxido de carbono que evita la condensación. Los ruidos submarinos parásitos son evitados mediante una pantalla hidrodinámica situada en la parte posterior del portaproyector.



Oscilador en cavidad rectangular con diodo Gunn y sintonía electrónica.

Evidentemente, la propia hélice del barco que lleva el sonar originaría perturbaciones en el equipo. Para evitarlas, el proyector va montado sobre un mecanismo retráctil que es izado cuando no se está utilizando. En general el proyector se sitúa a 1,5 metros por debajo de la quilla del buque. Además, dispone de un sistema de orientación que permite

dirigir el proyector hacia diferentes puntos del horizonte submarino, para así abarcar un gran área de utilización. Pero por desgracia su horizonte es limitado: hacia popa es totalmente inútil a causa del ruido que producen las hélices.

En cuanto a las frecuencias utilizadas, la gama abarca desde 16 a 30 kHz, siendo la más normal la de 27 kHz. Esta gama ha sido delimitada por el medio de utilización y por imperativos técnicos. Más allá de 30 kHz las ondas ultrasonoras sufren tal atenuación en el mar que su alcance es muy reducido, por lo que han sido desechadas. Por debajo de 15 kHz la propagación es muy buena, pero los proyectores que se requieren son de dimensiones mecánicas prohibitivas para lograr un haz de radiación estrecho.

El receptor

Está compuesto de un amplificador que recibe la suma de las señales emitidas y las recibidas. Las primeras son limitadas en amplitud para evitar posibles daños al amplificador. La señal de salida se heterodina con otra procedente del oscilador de batido para dar una señal de audiofrecuencia de 800 Hz. Una vez amplificada se inyecta en dos canales. El primero conduce la señal con un altavoz o cascos para poder ser escuchado tanto el impulso emitido como el eco, y el segundo conduce a la unidad de visualización de distancias.

Esta última unidad puede utilizar un sistema de pantalla o un sistema de visualización lineal óptica sobre una escala graduada.

El primer sistema es análogo al utilizado para el radar: sincronización del giro con el barrido. El segundo es una combinación de lámpara y espejo que gira gobernado por los impulsos de emisión. El reflejo de la luz de la lámpara sobre el espejo se proyecta hacia una escala donde están marcadas las distancias.

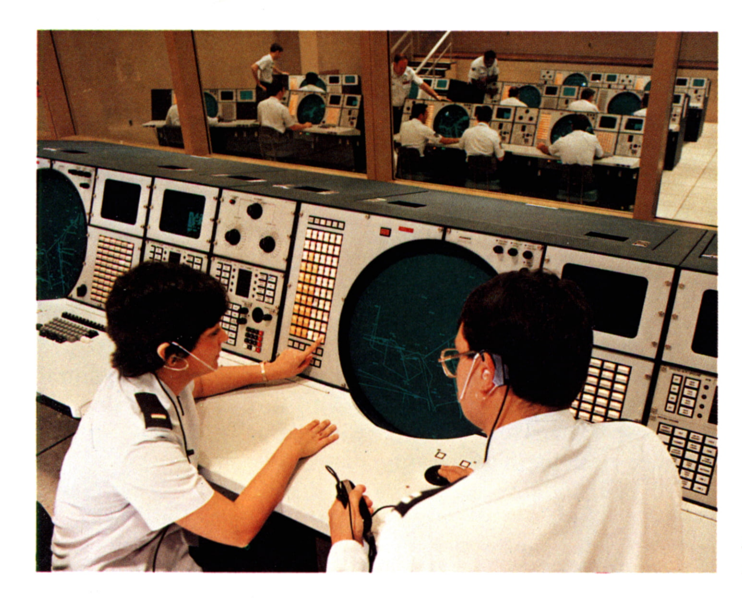
El sistema de orientación

Está compuesto de diversos servomecanismos que, a través de varios circuitos y de motores síncronos, obligan a moverse de forma síncrona el eje del proyector y el índice indicador de demora.

Utilización del sonar

El sonar fue utilizado por primera vez durante la II Guerra Mundial para la localización de submarinos. La existencia del cono de silencio, situado en la vertical del proyector, fue uno de los grandes obstáculos con que contó en sus comienzos este equipo.

Efectivamente, existe una zona bajo el proyector que no podía ser explorada. Posteriormente fue resuelto este problema con el sistema llamado del «haz abierto».



Sala de control de navegación marítima.

Este sistema utiliza una excitación del proyector que obliga a utilizar una pequeña superficie de radiación, con lo que el haz que se produce es muy abierto, permitiendo la exploración en la misma vertical del proyector.

Otros grandes problemas relacionados con el sonar son la velocidad de propagación de las ondas ultrasonoras en el agua, las reflexiones y refracciones que experimentan estas ondas (que en general se van curvando hacia abajo), los ruidos debidos a los buques próximos.

Para el primero sólo queda la solución de utilizar tablas de

corrección que dan valores en función de la temperatura del agua y la salinidad, así como comprobar periódicamente la distancia eficaz real del alcance del sonar.

Esto último se hace en función de buques de los que se sabe su distancia exacta al proyector, o bien utilizando balizas reflectoras.

Para evitar las perturbaciones debidas al ruido submarino se desarrolló el modulador de barrido, que hace variar linealmente la frecuencia de cada impulso emitido, con lo que el eco recibido tiene una musicalidad característica que permite distinguirlo del ruido de fondo.

La velocidad del buque también impone limitaciones en los sectores de exploración del sonar, por ejemplo, a velocidades más altas de 25 nudos aparece la imposibilidad de arriar el proyector.

A otras velocidades existen sectores donde la exploración es mala. La zona de proa sólo se puede explorar a velocidades menores a 15 nudos, hasta 120º a velocidades mayores de 20 nudos.

Pero no sólo se han utilizado a bordo de buques, también se ha utilizado el sonar en zonas cerca de costa, depositado el proyector sobre el fondo marino para localización de minas submarinas y buques enemigos, todo ello con bastante éxito.

La técnica utilizada para el ataque submarino con el sonar consiste en obtener mediante este equipo los datos de distancia y demora del submarino, con lo que se puede calcular su velocidad y rumbo.

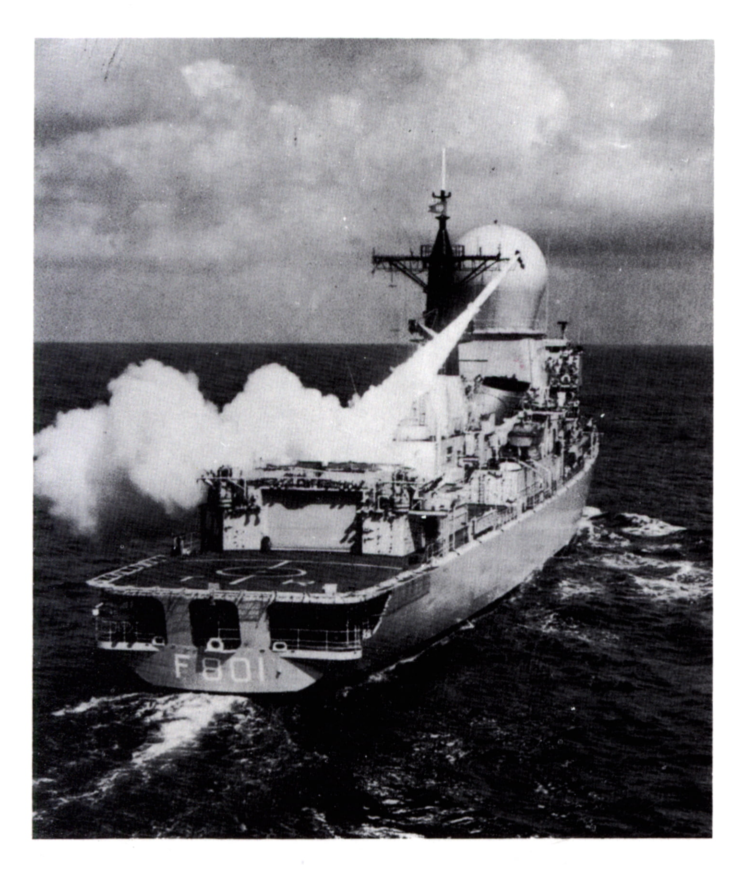
Con estos datos en la mano el problema se reduce a calcular el rumbo de colisión para lanzar las cargas de profundidad cuando se está sobre el blanco.

Pero, además, se ha de prever la derrota del blanco submarino durante los 20 segundos que tarda una carga de profundidad en llegar a cien metros, así como todos los datos de velocidad y rumbo previsible del blanco durante el tiempo de silencio, debido a que el proyector está sobre el blanco.

Todos estos cálculos hicieron de los ataques con cargas de profundidad, en combinación con el sonar, un sistema de ataque bastante ineficaz y un desaprovechamiento de las ventajas del sonar. Este hecho llevó consigo el desarrollo de una nueva arma antisubmarina disparada por la proa: el erizo.

Este sistema lleva conectado al arma los sistemas de sonar, así como todo el equipo de cálculo añadido, además mantiene siempre el arma apuntando hacia la demora de la posición futura del submarino.

La aplicación más importante del sonar en tiempo de paz ha sido en las actividades pesqueras, determinando la profundidad de un blanco submarino (bancos de peces, etc.).

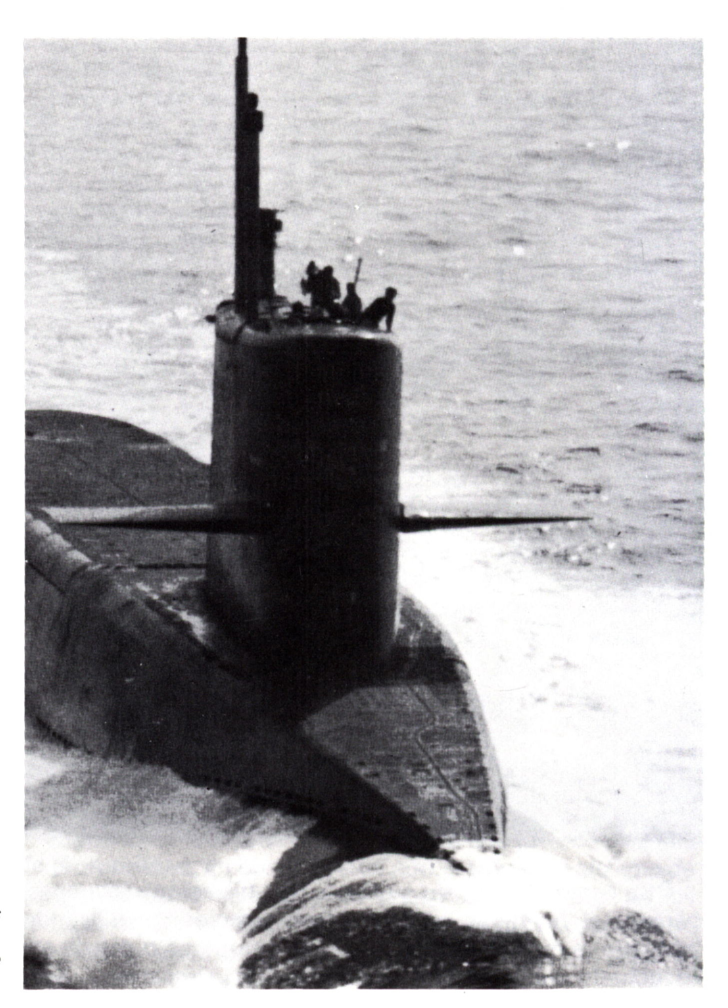


Los modernos barcos de combate van provistos de equipos de radar para detectar cohetes, aviones, barcos, además del correspondiente sonar para detectar submarinos.

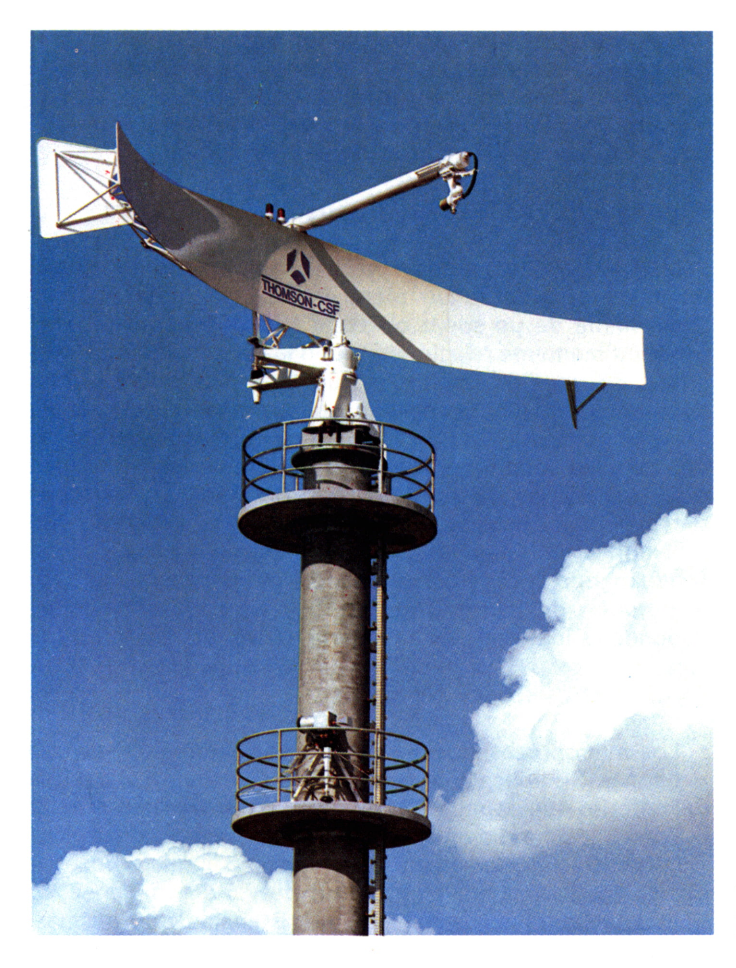
Otro uso del sonar, en su forma de utilización «escucha», permite el mantenimiento de comunicaciones, utilizando para ello el manipulador. La ventaja es que sólo puede ser escuchado por otros buques con equipos similares.

Nuevas técnicas en sonar

El principal problema del sonar estriba en que a partir de la emisión de un impulso acústico, según una orientación determinada, sería preciso inmovilizar la antena para esperar que el impulso emitido se pueda propagar en el agua hasta el límite del alcance elegido, y, llegado el caso, tropiece con un objetivo, se refleje sobre éste y regrese de nuevo a la antena.



El sonar hace las veces del radar dentro del agua, y resulta indispensable para los submarinos.



Antena de radar adaptada para la vigilancia marítima.

Se debería entonces reflejar la misma sobre un ángulo determinado y volver a dar comienzo el proceso. Tomando una escala de 9.000 metros como límite máximo de alcance, la antena debería permanecer dirigida a una misma orientación durante 12 segundos, y al cabo de ese tiempo podría cambiarse de sector. Ello significa que para explorar la totalidad del horizonte se precisan por lo menos siete minutos.

En ciertos casos ésta es una amplitud de tiempo excesivamente grande.

Una de las soluciones adoptadas consiste en combinar una base acústica única omnidireccional y varios sonares de detección, idénticos y adyacentes, cada uno de los cuales permitiría obtener información del horizonte cada 12 segundos, según los valores del ejemplo anterior.

Propagación de las ondas acústicas en el agua

Mientras que la radiación magnética se propaga en ondas en línea recta sobre un plano vertical, la onda acústica proveniente de un sonar obedece a leyes particulares que están íntimamente relacionadas con las condiciones batitérmicas del medio. Debido a que la propagación sonora depende de la salinidad del agua, de la presión y, sobre todo, de la temperatura, ésta está definida en un lugar determinado, pero es variable con el tiempo. De todo ello pueden derivarse «zonas de sombra», en las cuales es imposible detectar objeto alguno. Todo esto queda complicado con reflexiones múltiples sobre la superficie del agua y en el fondo marino, todo lo cual es independiente, por ejemplo, de la potencia de transmisión, que sólo es posible modificar variando la inmersión de la antena del sonar.

Ayudas al operador de radar

Los microprocesadores han invadido también el campo del sonar. Su aplicación fundamental se halla en el análisis del entorno que permite determinar el nivel del ruido propio, así como las condiciones ambientales de temperatura, etc.

Otra de las facetas en las que interviene el microprocesador es en el almacenamiento de memoria de imágenes, su puesta posterior en pantalla y la persistencia de las mismas.

También en el seguimiento de blancos interviene el microprocesador, así como en la medición de los parámetros de los objetivos y la transmisión de éstos a otros puntos del buque.

El procesamiento de datos es de gran importancia en los sonares actuales. Dicho procesamiento permite distinguir entre los ecos prácticamente puntuales de los submarinos y los ecos debidos a reverberaciones en el fondo marino o la superficie del mar, con lo que el operador queda emplazado a seguir únicamente los ecos «verdaderos».

